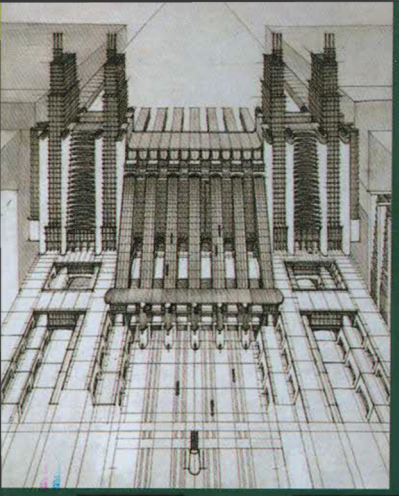


TS. VŨ HOÀNG HƯNG
PGS.TS. NGUYỄN QUANG HÙNG

ANSYS®

PHÂN TÍCH KẾT CẤU CÔNG TRÌNH THỦY LỢI THỦY ĐIỆN

TẬP I - CÁC BÀI TOÁN CƠ BẢN

NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG

TS. VŨ HOÀNG HƯNG
PGS.TS. NGUYỄN QUANG HÙNG

ANSYS®

PHÂN TÍCH KẾT CẤU CÔNG TRÌNH THỦY LỢI THỦY ĐIỆN

TẬP I - CÁC BÀI TOÁN CƠ BẢN

NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG
HÀ NỘI - 2011

LỜI NÓI ĐẦU

Gần 40 năm trở lại đây, máy tính được phát triển nhanh chóng và ứng dụng rộng rãi, cùng với phương pháp phần tử hữu hạn ngày càng hoàn thiện đã xuất hiện nhiều phần mềm tính toán kết cấu chuyên ngành và được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực. Trên thế giới phần mềm ANSYS đã trở thành phần mềm chủ yếu và đã được ứng dụng rộng rãi phân tích mô phỏng trong Ngành Xây dựng như: kết cấu thép, kết cấu bê tông cốt thép nhà cao tầng, nhà thi đấu thể dục thể thao, cầu dầm, đập lớn, đường hầm và các công trình ngầm,... thông qua đó có thể phân tích toàn diện khả năng chịu lực, biến dạng, tính ổn định, dưới tác động của tải trọng tĩnh và động với các điều kiện biên phức tạp. Về phương diện tính toán cơ học đã đề xuất phương án giải quyết toàn diện, cung cấp cho kỹ sư xây dựng một công cụ mạnh, mà thủ tục phân tích lại dễ dàng, thuận tiện.

Phần mềm ANSYS được phổ biến ở Việt Nam khoảng hơn 10 năm trở lại đây nhưng chủ yếu trong lĩnh vực cơ khí chế tạo máy, trong phân tích tính toán công trình xây dựng chưa được sử dụng nhiều. Hiện nay trên thị trường và trên Internet có nhiều tài liệu hướng dẫn sử dụng phần mềm ANSYS, rất cơ bản, chi tiết và dễ học, các tài liệu này là người bạn không thể thiếu của những người mới bắt đầu tiếp cận phần mềm. Song khi đi sâu ứng dụng phần mềm vào chuyên ngành xây dựng công trình thủy lợi thủy điện thường gặp không ít khó khăn và bỡ ngỡ, do chưa có nhiều tài liệu tham khảo, đều tự tìm tòi học hỏi nên mất nhiều thời gian và công sức. Vì vậy các tác giả mong muốn có một bộ tài liệu hướng dẫn tính toán cho người mới bắt đầu tiếp cận phần mềm này trong lĩnh vực phân tích kết cấu công trình thủy lợi.

*Nội dung chủ yếu của bộ tài liệu "**Phân tích kết cấu công trình thủy lợi thủy điện bằng phần mềm ANSYS**" bao gồm hai phần:*

***Phần 1** - Các bài toán cơ bản: Phân tích kết cấu giàn, dầm và khung, bài toán phẳng, bài toán tấm và vỏ, kết cấu hỗn hợp.*

***Phần 2** - Các bài toán nâng cao: Phân tích đập bê tông trọng lực và đập vòm, phân tích đập chịu tác động của động đất, phân tích ứng suất nhiệt trong đập bê tông, phân tích kết cấu đường hầm và cống ngầm, phân tích ổn định mái dốc, phân tích thấm ổn định đập đất, phân tích ứng suất biến dạng cửa van cung, các vấn đề về bê tông cốt thép.*

Trong quá trình biên soạn bộ sách này, các tác giả nhận được nhiều sự động viên giúp đỡ của các bạn đồng nghiệp Việt Nam trong và ngoài nước. Đặc biệt xin chân thành cảm ơn PGS.TS. Vũ Thành Hải, GS.TS. Nguyễn Văn Mạo đã có nhiều đóng góp về nội dung cũng như hình thức để bộ sách sớm ra mắt bạn đọc.

Lần đầu xuất bản không tránh khỏi sai xót, các tác giả mong nhận được sự đóng góp ý kiến của các bạn đọc để nội dung cuốn sách được hoàn thiện hơn trong lần xuất bản sau. Những vấn đề cần trao đổi xin gửi về:

Vũ Hoàng Hưng, Nguyễn Quang Hùng - Đại học Thủy lợi, 175 Tây Sơn - Hà Nội

Email: hung.kcct@wru.edu.vn; hungwuhan@wru.edu.vn

Về tác giả và các tài liệu có liên quan có thể xem tại địa chỉ:

www.hungkcct.wordpress.com.

Các tác giả

Chương 1
MỞ ĐẦU

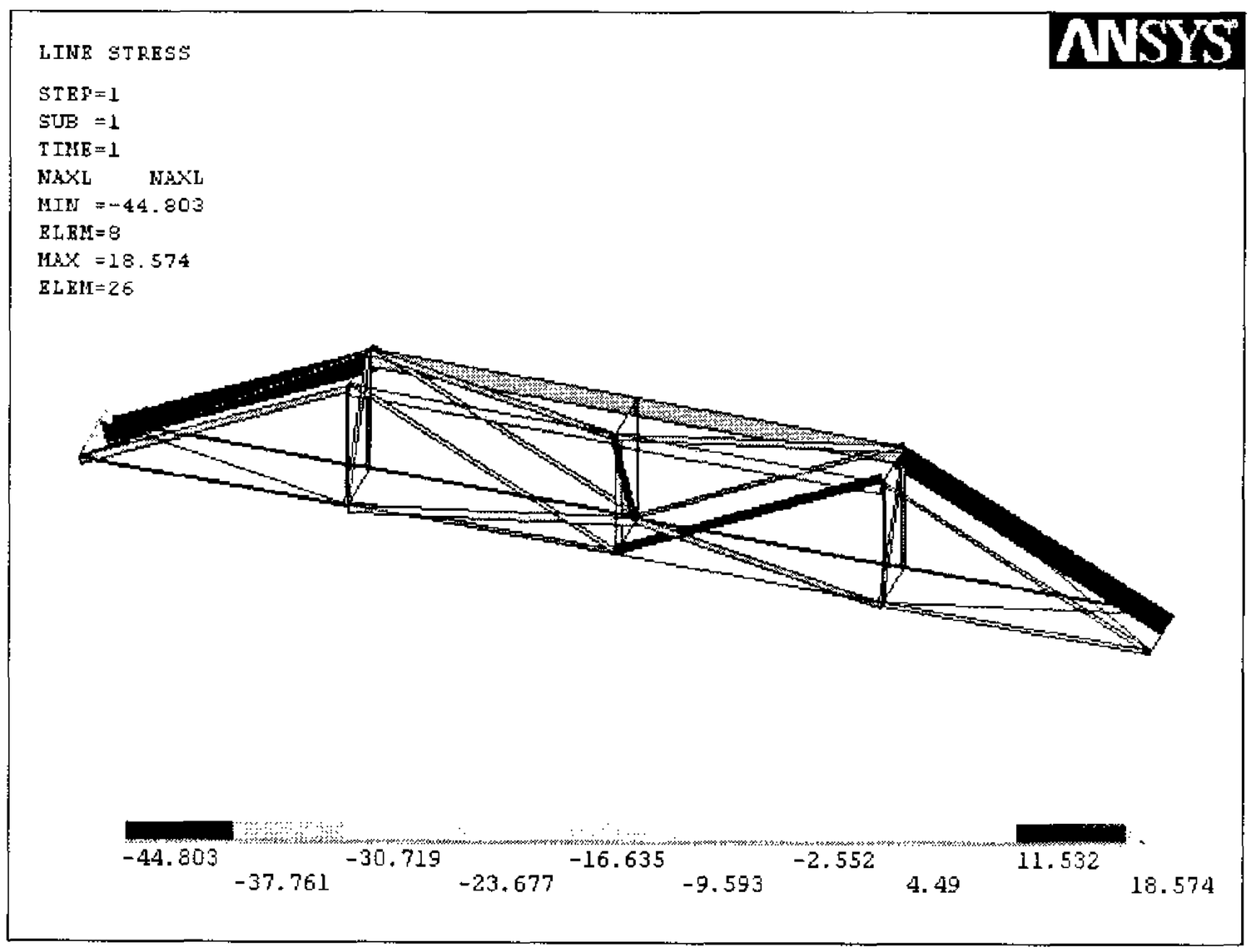
1.1. GIỚI THIỆU KHÁI QUÁT PHẦN MỀM ANSYS

Phần mềm ANSYS là phần mềm đa năng có thể dùng để giải các bài toán trong nhiều lĩnh vực khác nhau như kết cấu, thủy lực, nhiệt, điện, điện tử, đặc biệt là các bài toán tương tác giữa các môi trường khác nhau, tương tác giữa các hệ vật lý,... Từ khi ra đời năm 1970, phần mềm ANSYS không ngừng được cải tiến nâng cao, công năng ngày càng lớn mạnh, hiện nay đã phát triển đến phiên bản 13.0. Trong cuốn sách này tập trung khai thác phần mềm ANSYS 11.0 trong lĩnh vực xây dựng công trình thủy lợi thủy điện.

Một vài ứng dụng của phần mềm ANSYS trong phân tích kết cấu công trình thủy lợi thủy điện sẽ được giới thiệu trong bộ sách này.

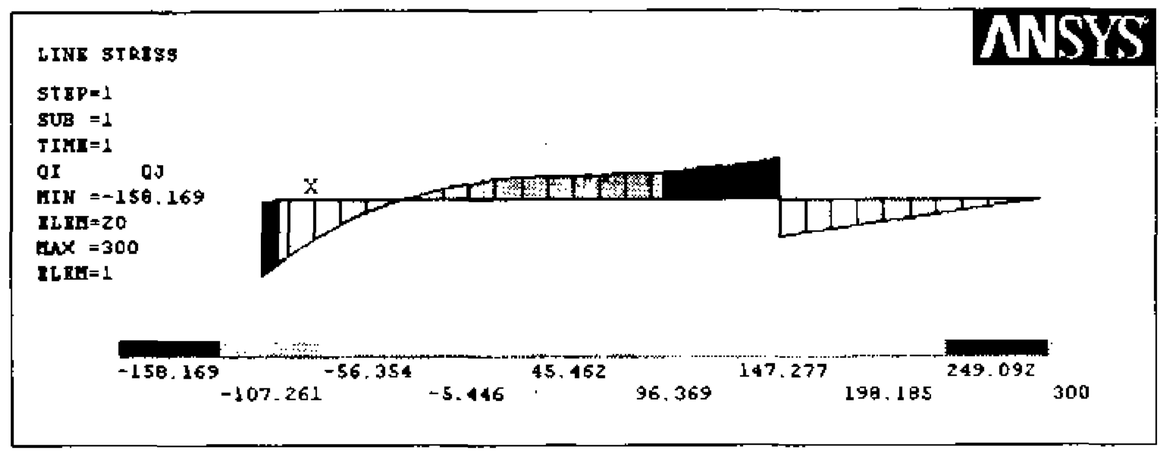
A- Phần 1: Các bài toán cơ bản

(1) Kết cấu giàn

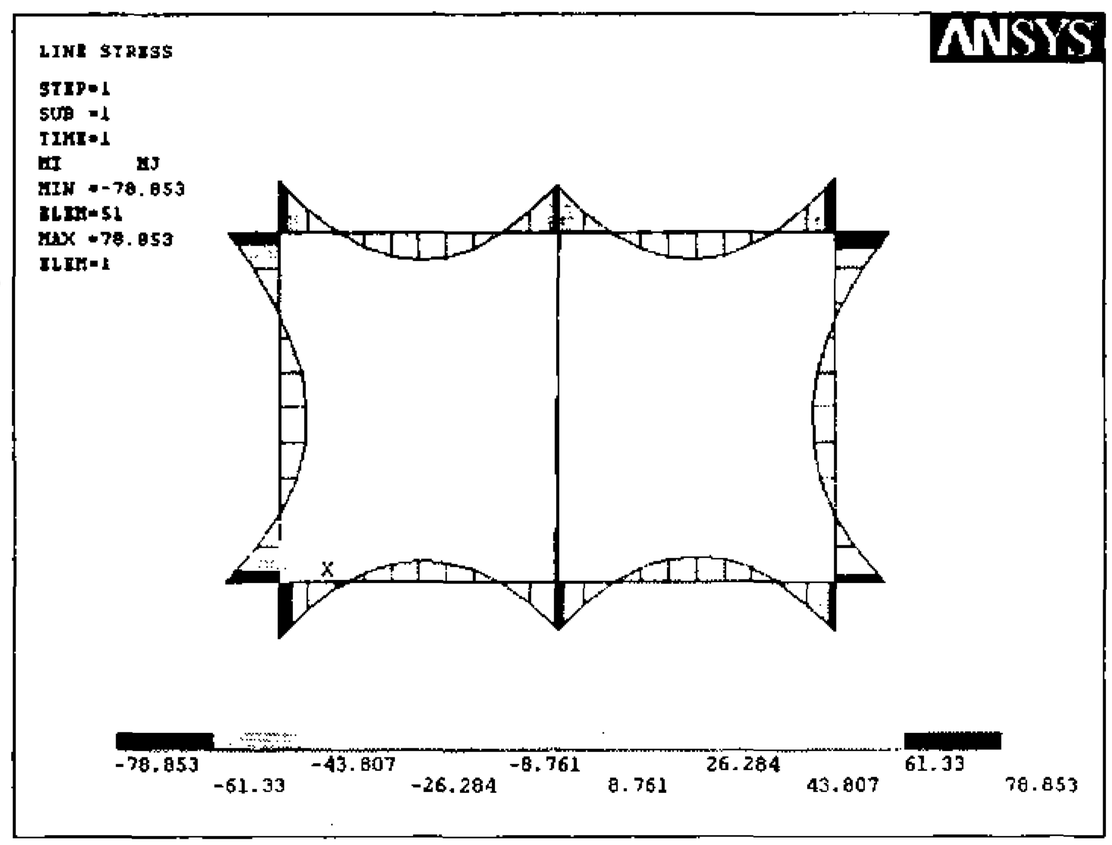


Hình 1.1. *Phân tích nội lực giàn không gian*

(2) Kết cấu dầm và khung

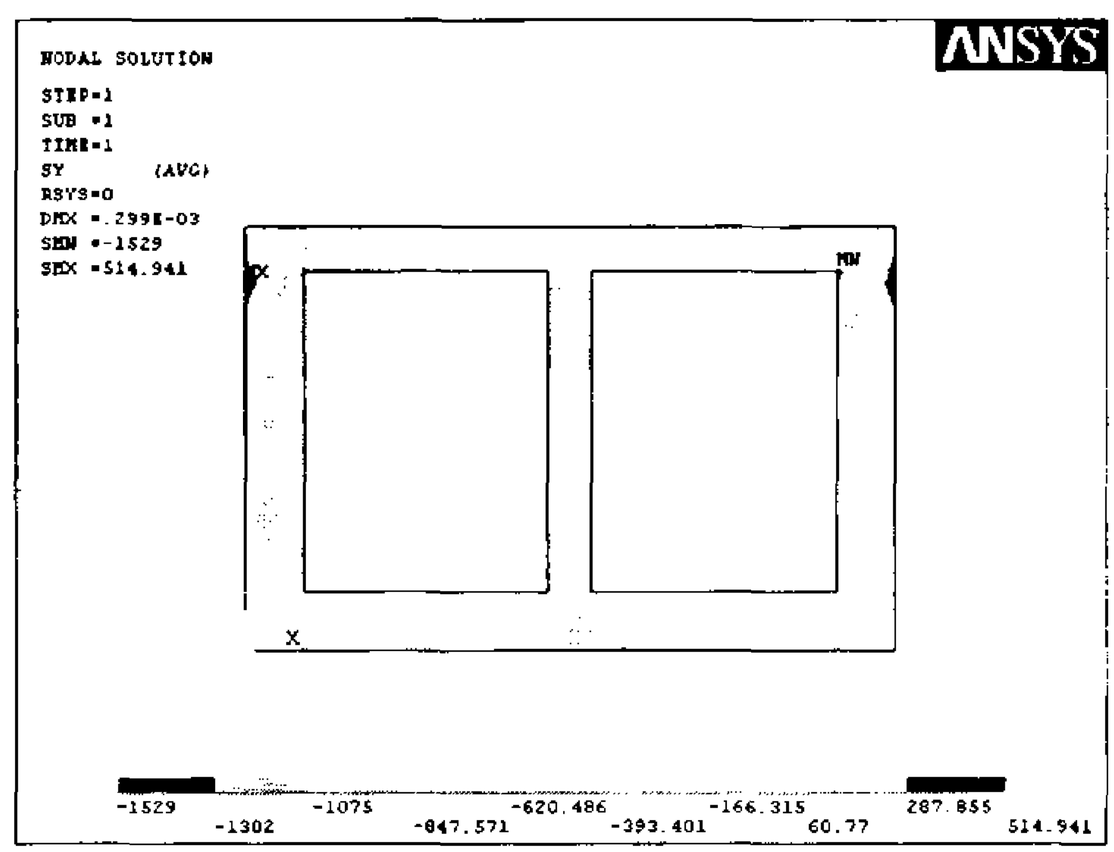


Hình 1.2. *Phân tích nội lực dầm trên nền đàn hồi*

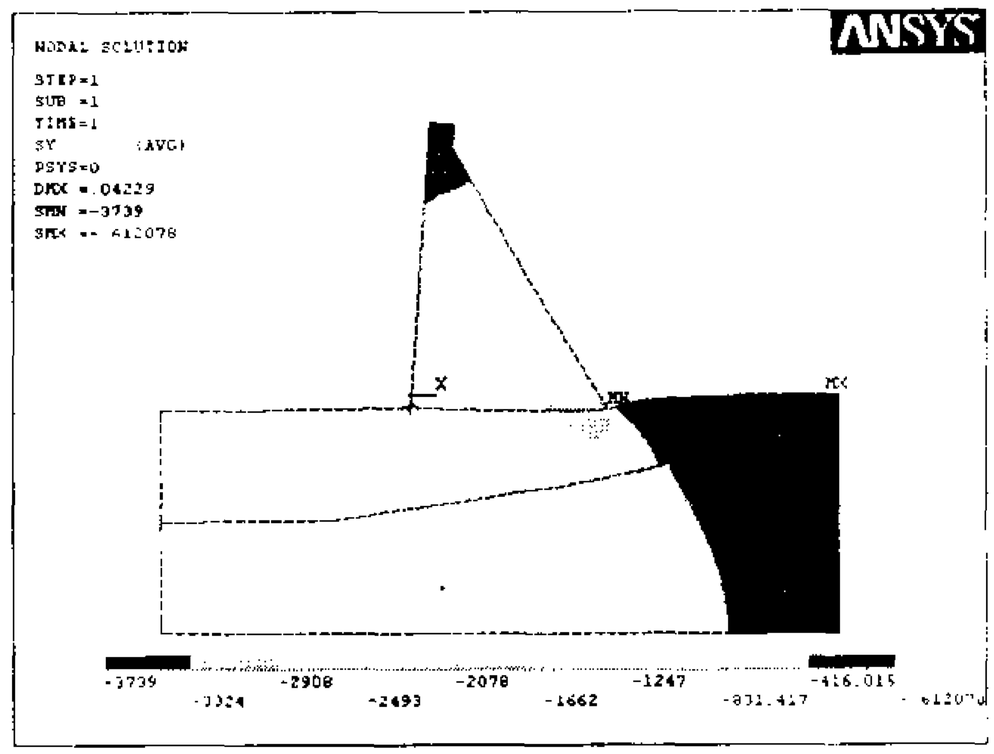


Hình 1.3. *Phân tích nội lực cống ngầm theo bài toán hệ thanh*

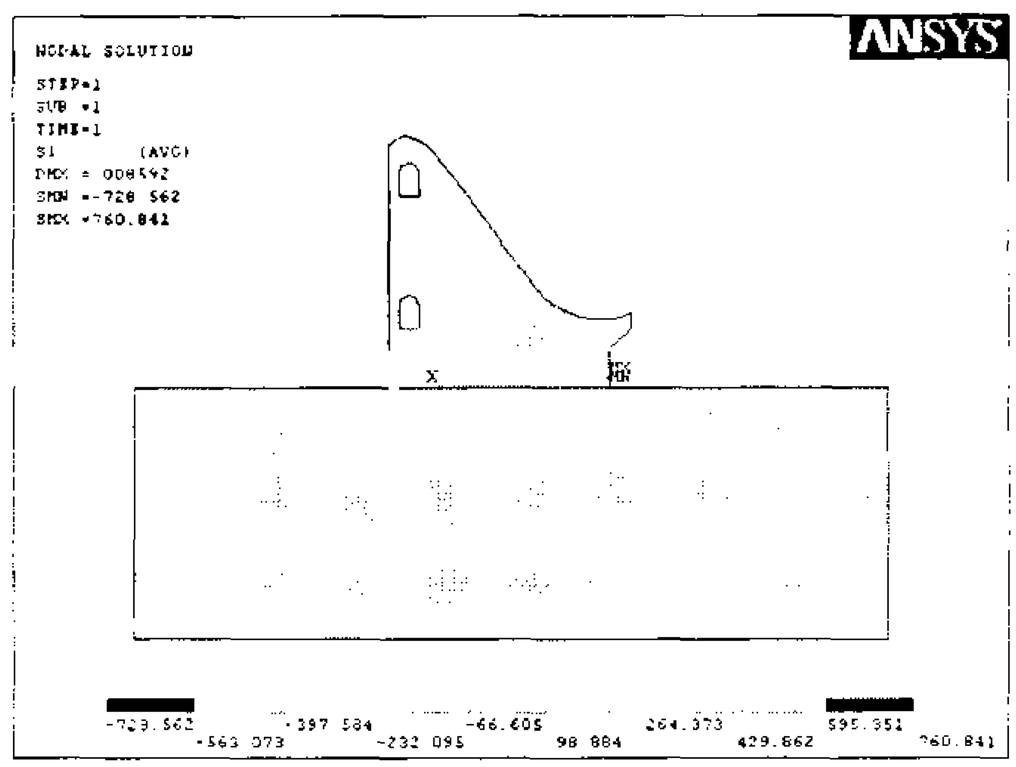
(3) Bài toán phẳng



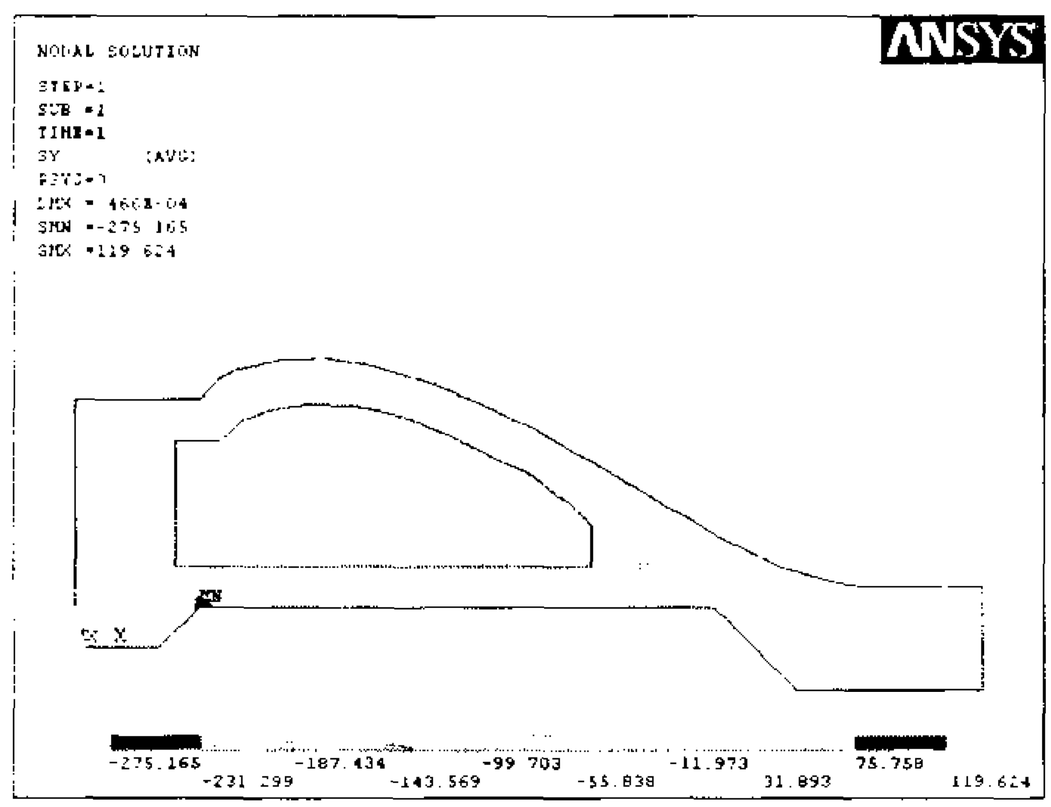
Hình 1.4. *Phân tích ứng suất biến dạng cống ngầm theo bài toán phẳng*



Hình 1.5. *Phân tích ứng suất biến dạng đập bê tông trọng lực*



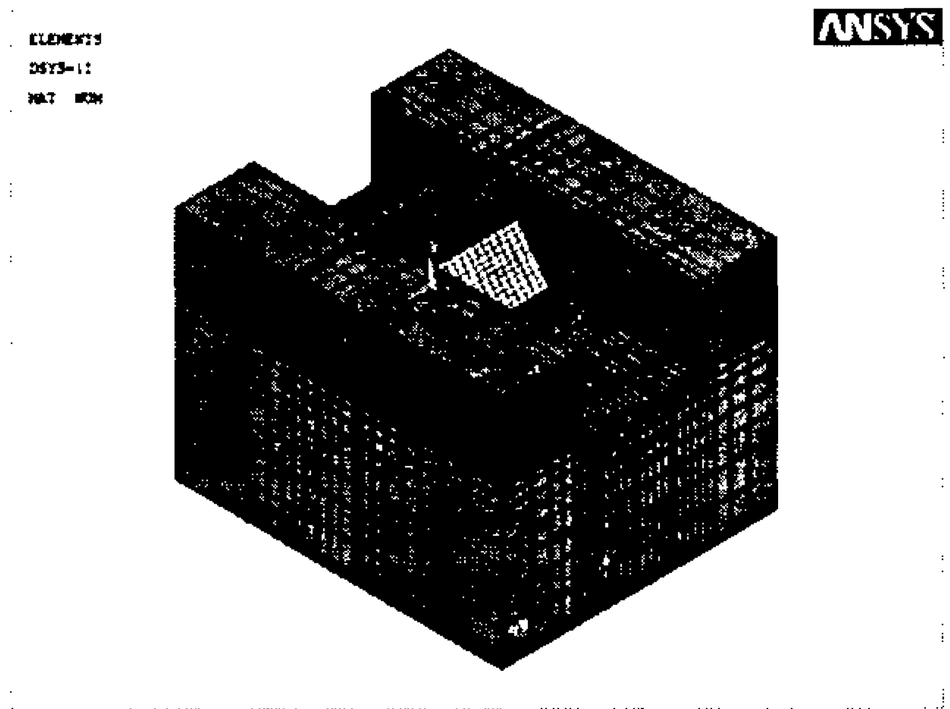
Hình 1.6. *Phân tích ứng suất biến dạng đập tràn tự do*



Hình 1.7. *Phân tích ứng suất biến dạng đập tràn có cửa van*

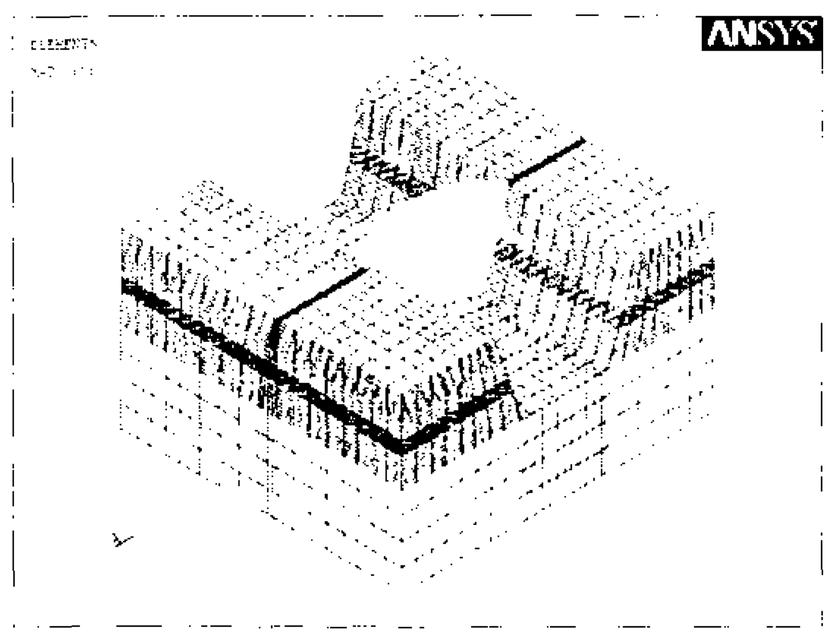
B- Phần 2: Các bài toán nâng cao

(1) Phân tích đập bê tông trọng lực theo mô hình không gian



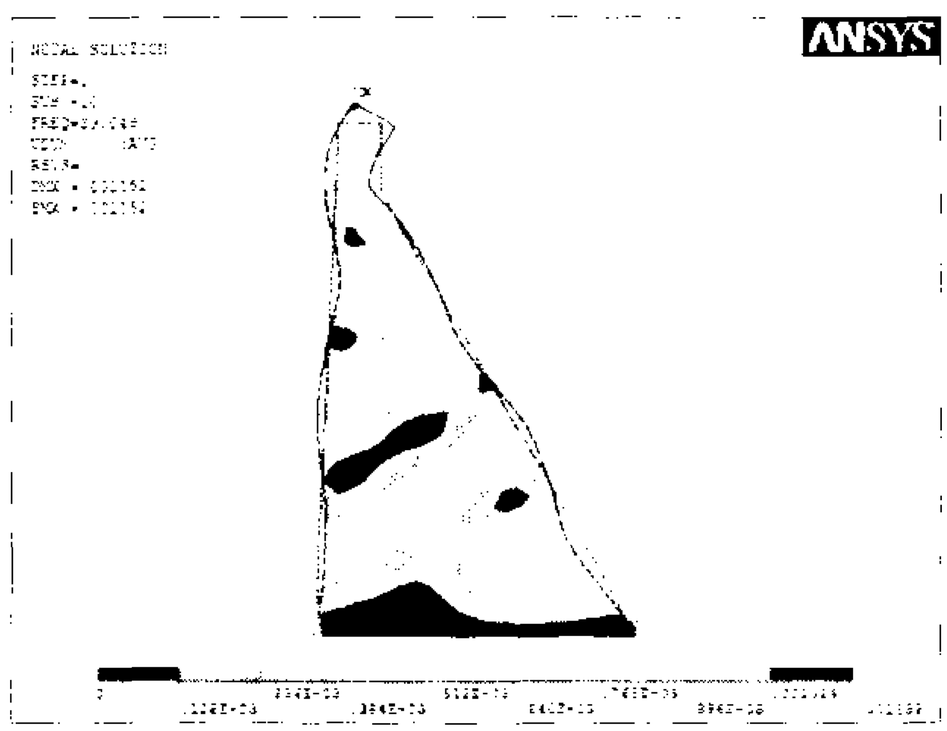
Hình 1.8. *Xây dựng mô hình đập bê tông trọng lực theo sơ đồ không gian*

(2) Phân tích đập vòm theo mô hình không gian



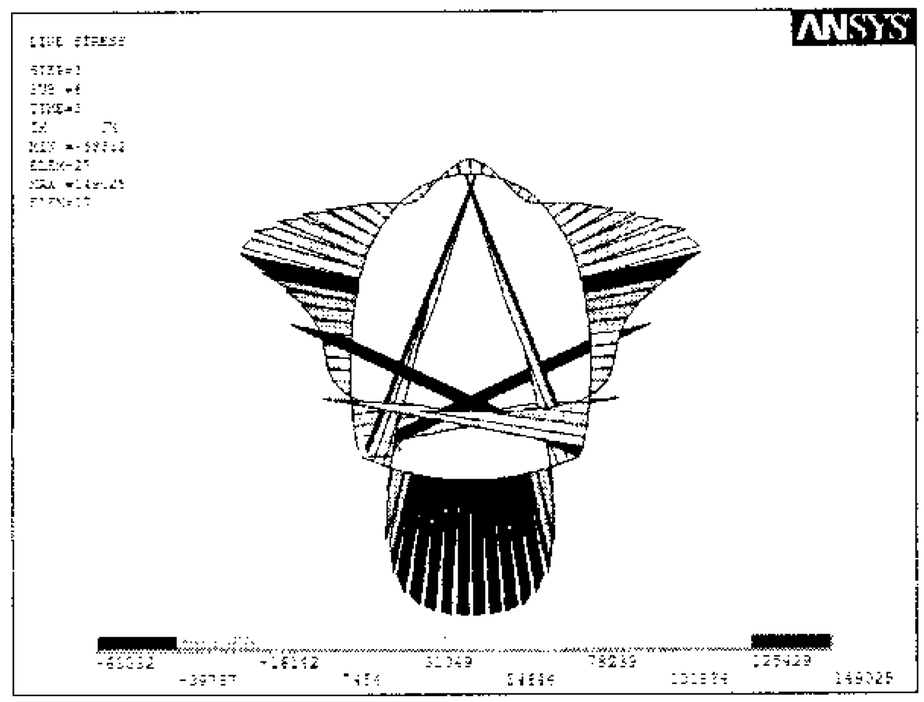
Hình 1.9. *Xây dựng mô hình ba chiều đập vòm*

(3) Phân tích đập chịu tác động của động đất



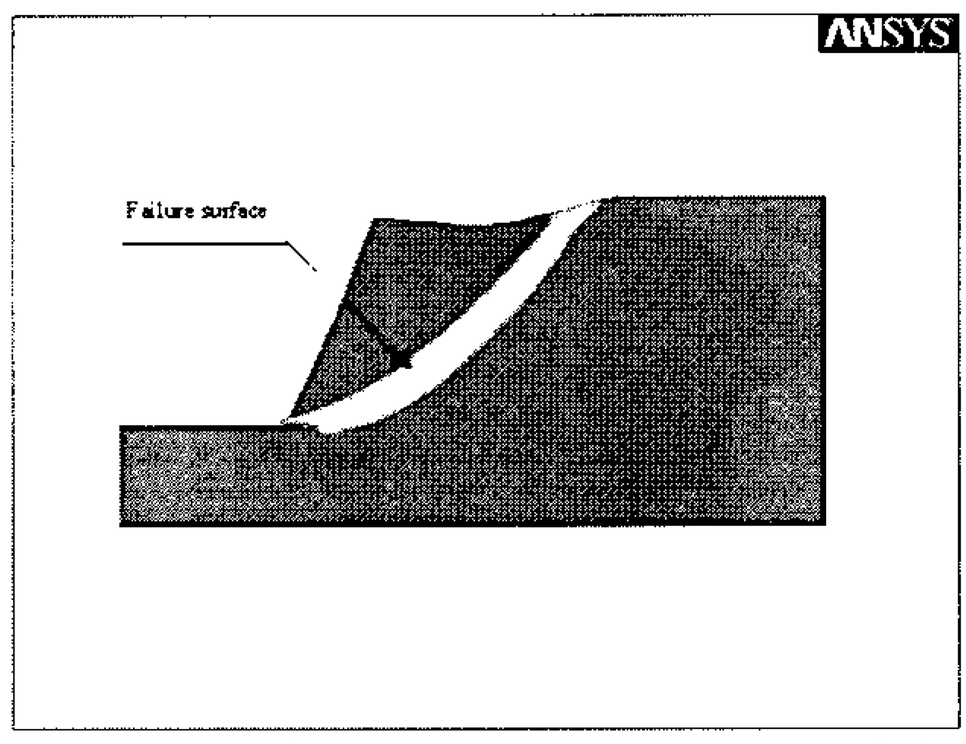
Hình 1.10. *Phổ chuyển vị tổng tại một dạng dao động*

(4) Phân tích quá trình đào đường hầm



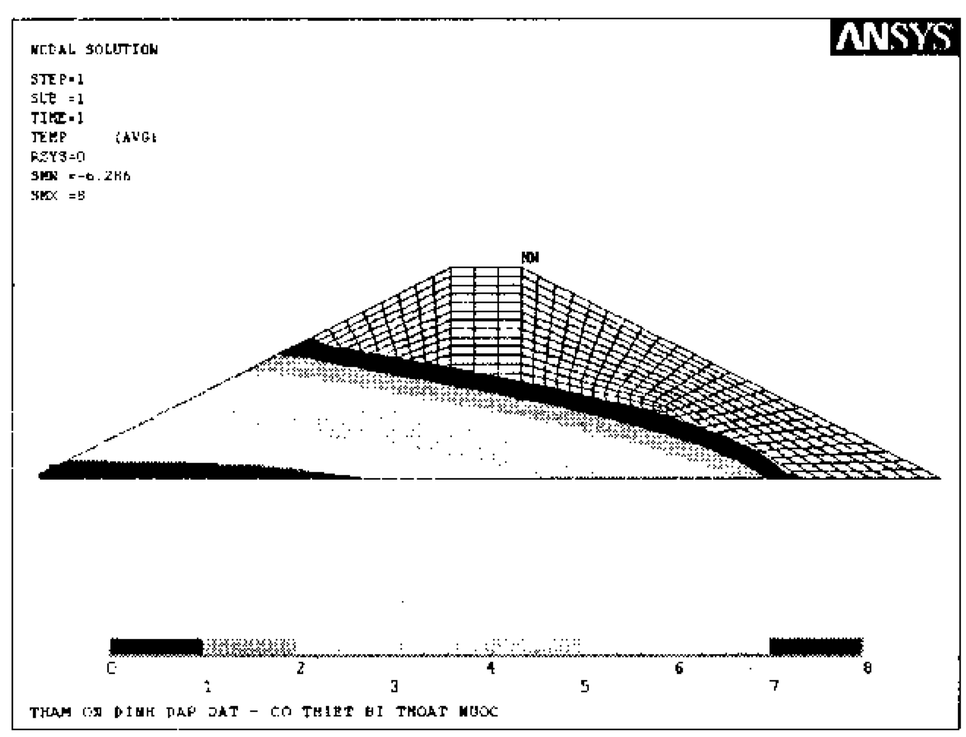
Hình 1.11. *Biểu đồ mômen trong vỏ hầm*

(5) Phân tích ổn định mái dốc



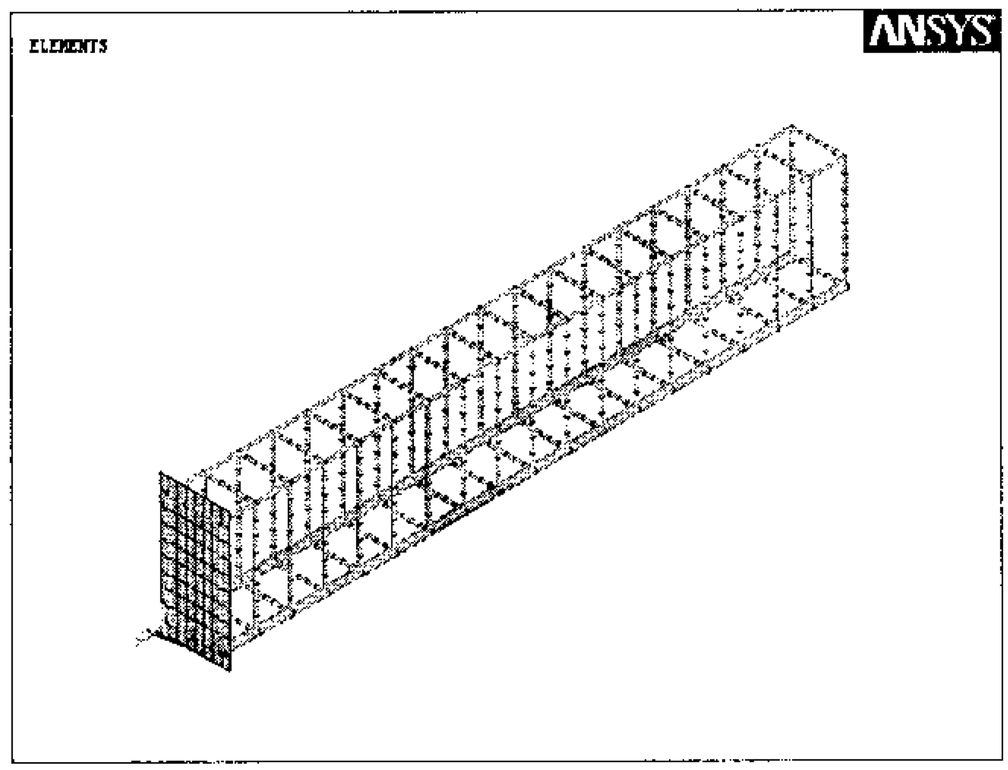
Hình 1.12. *Phổ biến dạng tính dẻo ở trạng thái mất ổn định*

(6) Phân tích thấm ổn định đập đất

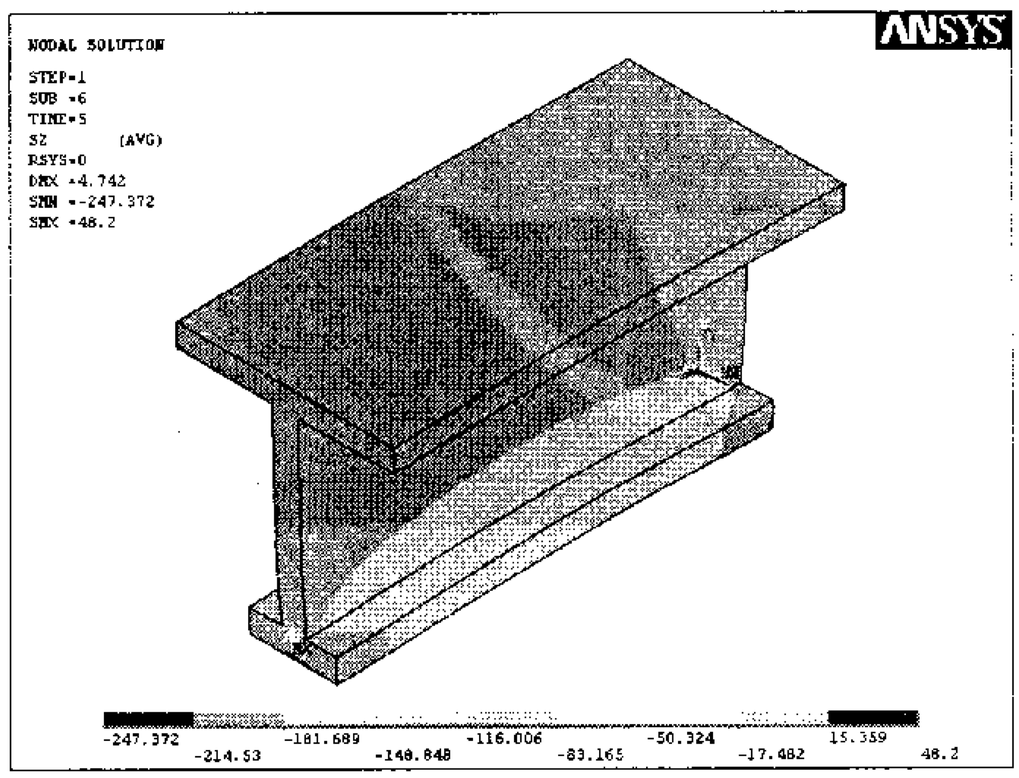


Hình 1.13*. Phổ cột nước áp lực trong thân đập đất*

(7) Phân tích bài toán bê tông cốt thép



Hình 1.14. *Phân tích nội lực dầm bê tông cốt thép*



Hình 1.15. *Phân tích ứng suất biến dạng dầm bê tông ứng suất trước*

1.1.1. Vị trí của phần mềm ANSYS trong thị trường CAE

Trong lĩnh vực kỹ thuật với sự trợ giúp của máy tính (CAE), ANSYS có sẵn ưu thế rõ rệt thể hiện ở mấy mặt dưới đây:

(1) Phần mềm phân tích thiết kế công trình với sự trợ giúp của máy tính đạt chứng nhận đảm bảo chất lượng ISO 9001 khá sớm so với các phần mềm tương tự khác.

(2) Phần mềm CAE có tốc độ tăng trưởng nhanh nhất.

(3) Phần mềm khoa học kỹ thuật được cấp giấy chứng nhận của gần 20 Hiệp hội kỹ thuật chuyên ngành.

Hiện nay có hơn 70% các trường Đại học và Viện nghiên cứu trên thế giới sử dụng phần mềm ANSYS trong giảng dạy và nghiên cứu. ANSYS đã trở thành phần mềm có tốc độ tăng trưởng nhanh nhất trên phạm vi toàn thế giới.

1.1.2. Môi trường làm việc của ANSYS

Chương trình ANSYS là một gói phần mềm có công năng lớn, phân tích thiết kế với tối ưu, linh hoạt. Phần mềm này có thể làm việc trên nhiều môi trường khác nhau như máy PC, NT, UNIX...

ANSYS có thể trao đổi số liệu với rất nhiều phần mềm CAD, có thể nhận số liệu hình học được làm từ một phần mềm CAD nào đó ví dụ như Pro Engineer, SolidWork, NASTRAN, Alogor, I - DEAS, AutoCAD... việc làm này có thể tiết kiệm được nhiều thời gian trong quá trình xây dựng mô hình, nâng cao hiệu quả làm việc.

Với các phần mềm CAD có thể tạo file có cách thức: Pro/E, Unigraphics, CADDS, IGES, SAT và Parasolid, phần mềm ANSYS đều đủ khả năng tiếp nhận.

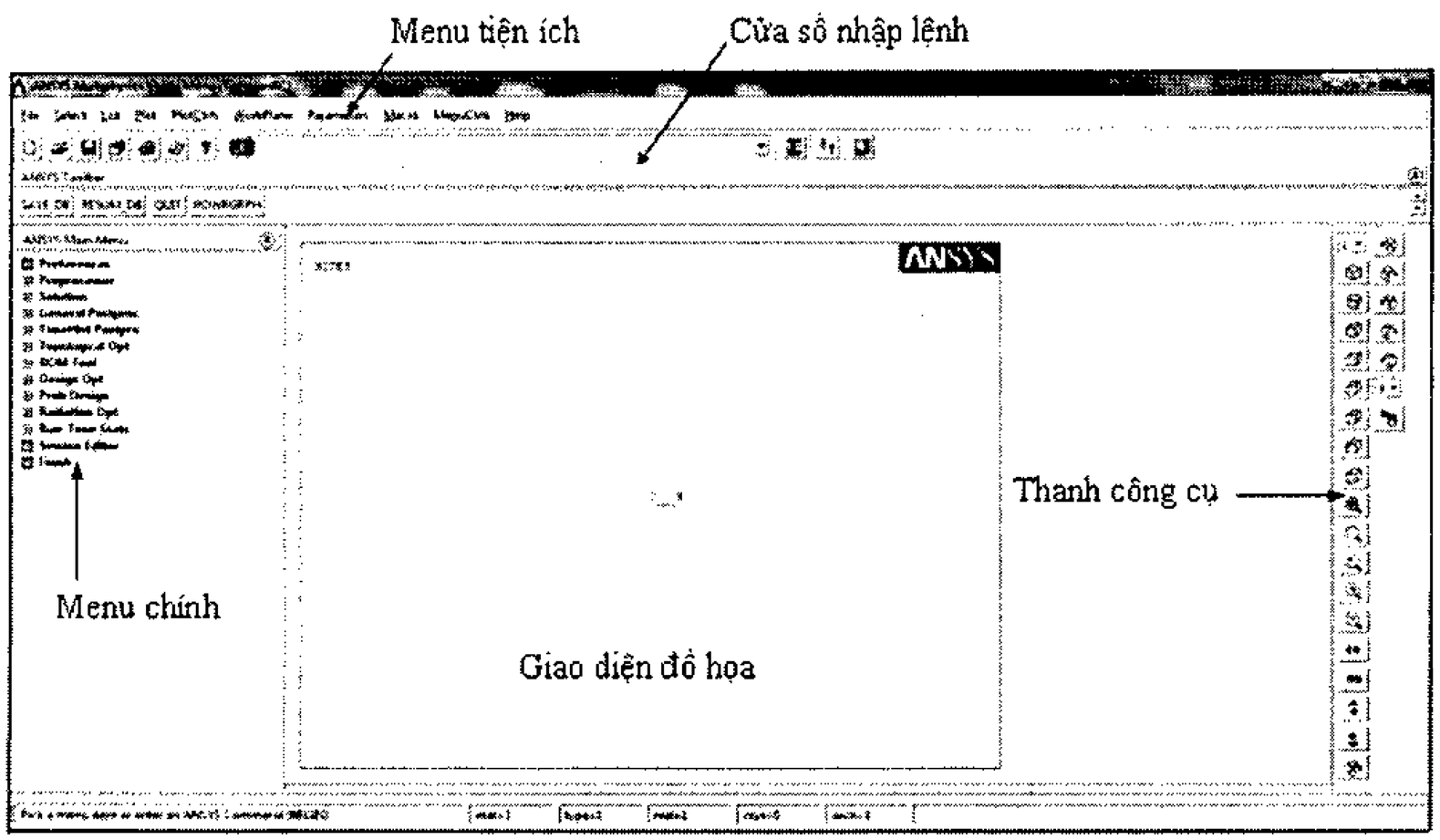
1.1.3. Sản phẩm của ANSYS

ANSYS cung cấp một bộ mô đun có khả năng vận hành độc lập bao gồm:

(1) ANSYS/Multiphysics
(2) ANSYS/Mechanical
(3) ANSYS/Structural
(4) ANSYS/Linear plus
(5) ANSYS/Thermal
(6) ANSYS/Preppost
(7) ANSYS/FLOTRAN
(8) ANSYS/Emag
(9) ANSYS/LS-DYNA

1.1.4. Giới thiệu màn hình ANSYS

Khởi động phần mềm ANSYS bằng cách nháy chuột vào biểu tượng hoặc từ ANSYS Product Launcher > Run > Xuất hiện cửa sổ đồ họa như ở hình 1.16.



Hình 1.16. Màn hình đồ họa

Menu tiện ích (Utility Menu)

- Chứa các chức năng như quản lý file, lựa chọn, giới hạn hiển thị, thiết lập tham số...
- Với mọi thời điểm đều có thể sử dụng menu này.

Menu chính (Main Menu)

- Chứa các chức năng cần thiết để phân tích một bài toán.
- Các chức năng này cho phép thực hiện các bước tính toán cần thiết trước khi chuyển sang chức năng tiếp theo.

Thanh công cụ (Toolbar)

- Chứa một số chức năng rút gọn thường dùng, người sử dụng có thể tự thiết lập thêm các nút chức năng theo ý muốn.

Cửa sổ nhập lệnh (Command Prompt)

Nhập lệnh điều khiển trong quá trình xây dựng mô hình tính toán và giải bài toán tùy theo cách chọn phương thức giải.

1.2. TRÌNH TỰ GIẢI BÀI TOÁN KẾT CẤU BẰNG PHẦN MỀM ANSYS

Có ba phương thức chính giải bài toán kết cấu bằng phần mềm ANSYS đó là phương thức giao diện đồ họa - người dùng (GUI - Graphical User Interface), phương thức dùng lệnh (Command), phương thức ngôn ngữ lập trình tham số (APDL - ANSYS Parametric Design Language), người sử dụng có thể dùng phối hợp cả ba phương thức này. Ngoài ra có thể dựa trên APDL xây dựng chương trình phân tích chuyên dụng dưới dạng file marco.

Trình tự giải bài toán kết cấu công trình bằng phần mềm ANSYS nói chung bao gồm 15 bước cơ bản được phân thành 3 nhóm là xử lý số liệu, tính toán và xử lý kết quả tính toán như dưới đây:

(1) Xử lý số liệu

Đặt tên bài toán

Giới hạn phạm vi phân tích

Định nghĩa loại hình phần tử và lựa chọn các thông số

Định nghĩa hằng số thực

Định nghĩa thuộc tính vật liệu

Xây dựng mô hình hình học

Chia lưới phần tử

Gán tải trọng và điều kiện biên

(2) Tính toán

Lựa chọn loại hình tính toán

Thiết lập các yêu cầu tính toán

Tính toán các vấn đề có liên quan

(3) Xử lý số liệu

Đọc lấy dữ liệu từ trong kết quả tính toán

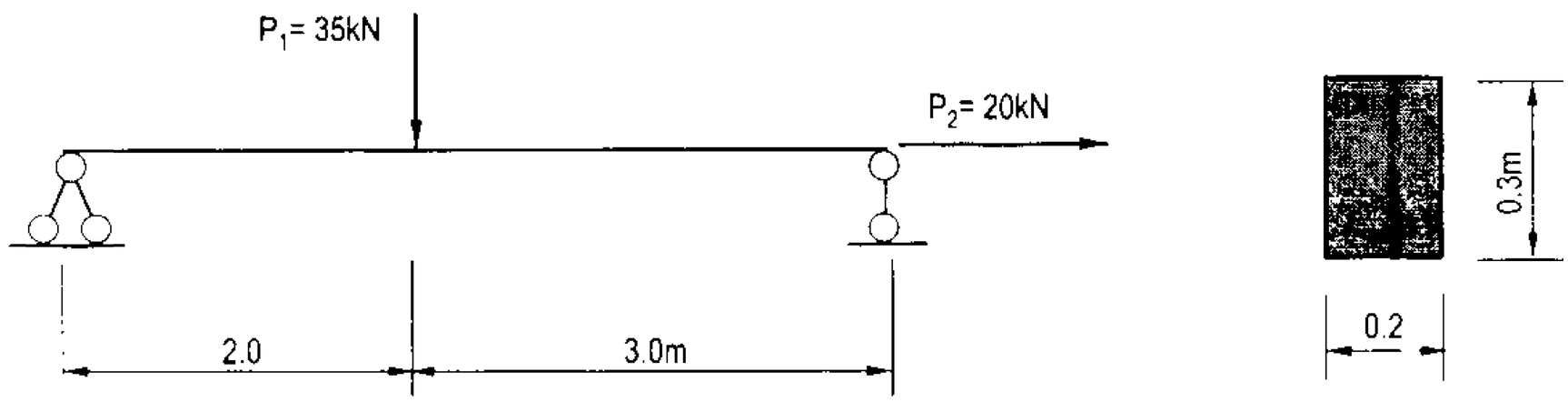
Hiển thị các loại biểu đồ, bảng biểu (nếu có) đối với kết quả tính toán

Phân tích kết quả

Để việc trình bày các bước phân tích bài toán kết cấu bằng phần mềm ANSYS được rõ ràng, trực quan, dưới đây sẽ giới thiệu trình tự giải theo các phương thức tính toán thông qua một số ví dụ cụ thể.

• **Ví dụ 1.1.**

Xác định nội lực và chuyển vị của dầm đơn có kích thước và chịu tải trọng như ở hình 1.17. Vật liệu bê tông M200 có mô đun đàn hồi $E = 2.4\times10^7 kN/m^2$, hệ số Poisson $\mu = 0.2$, trọng lượng riêng $\gamma = 25\ kN/m^3$.

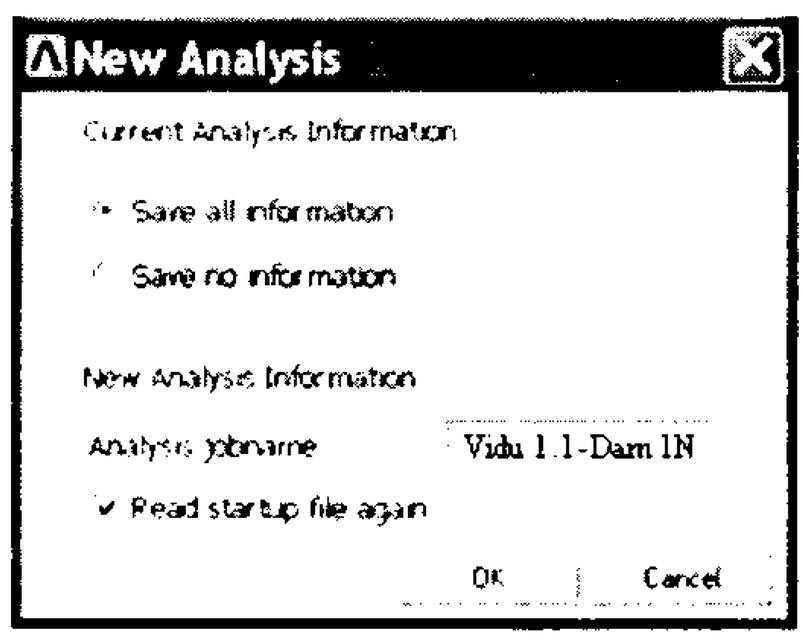


Hình 1.17. Sơ đồ tính toán

1. Thực hiện theo phương thức GUI

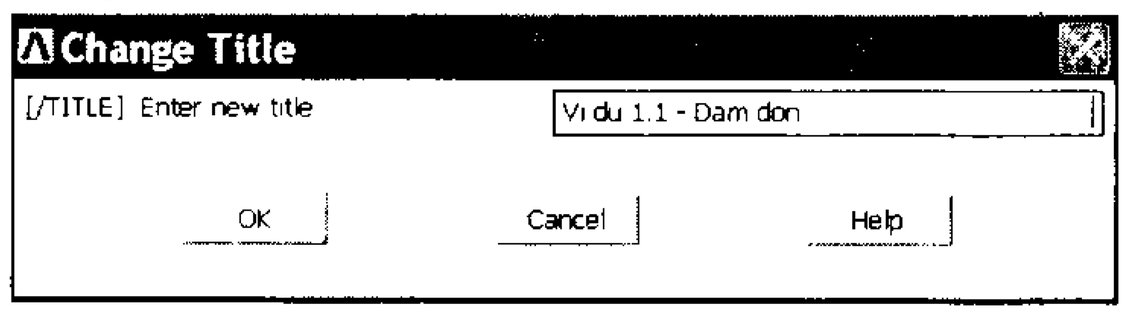
a) Xây dựng mô hình và giải bài toán

* Đặt tên file bài toán: Sau khi khởi động ANSYS, nhấn vào biểu tượng > Xuất hiện bảng New Analysis như ở hình 1.18 > Nhập Vidu 1.1-Dam 1N ở cửa sổ nhỏ Analysis Jobname > OK.



Hình 1.18. Đặt tên File bài toán

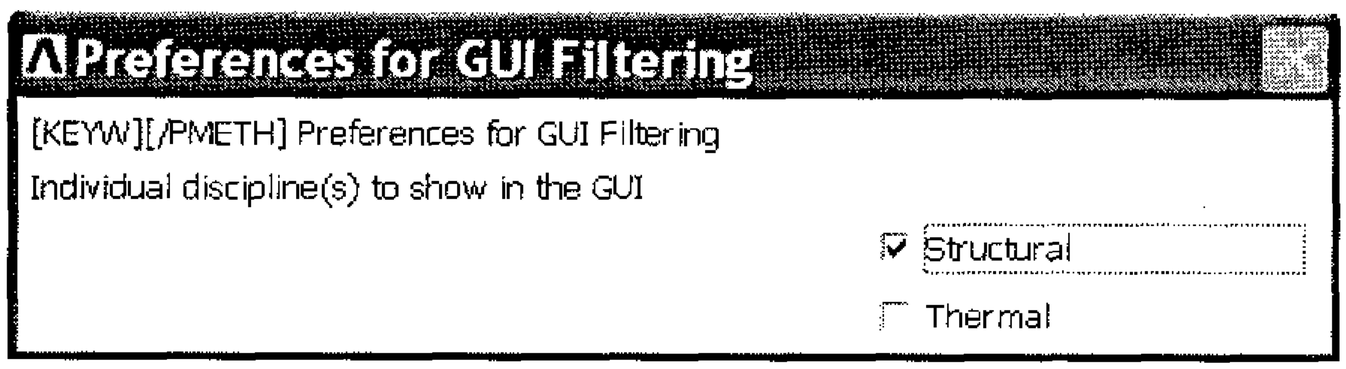
Đặt tên bài toán chi tiết hơn, từ menu File > Change Title > Xuất hiện bảng Change Title như ở hình 1.19 > Nhập Vidu 1.1-Dam don vào cửa sổ nhỏ Title.



Hình 1.19. Đặt tên bài toán

* Giới hạn phạm vi hiển thị các chức năng: ANSYS là một phần mềm đa năng, để dễ dàng cho việc thao tác giao diện đồ họa - người sử dụng, với mỗi bài toán trong lĩnh vực cụ thể để cho việc khai thác phần mềm ANSYS được thuận tiện, cần giới hạn hiển thị các chức năng cần thiết cho bài toán cần giải.

Bài toán ở Ví dụ 1.1 thuộc lĩnh vực kết cấu (Structural), để thực hiện giới hạn hiển thị này, nhấn chuột vào Main Menu Preferences > Xuất hiện bảng Preferences for GUI Filtering như ở hình 1.20 > Nhấn chuột vào ☑ Structural > OK.



Hình 1.20. *Giới hạn phạm vi hiển thị*

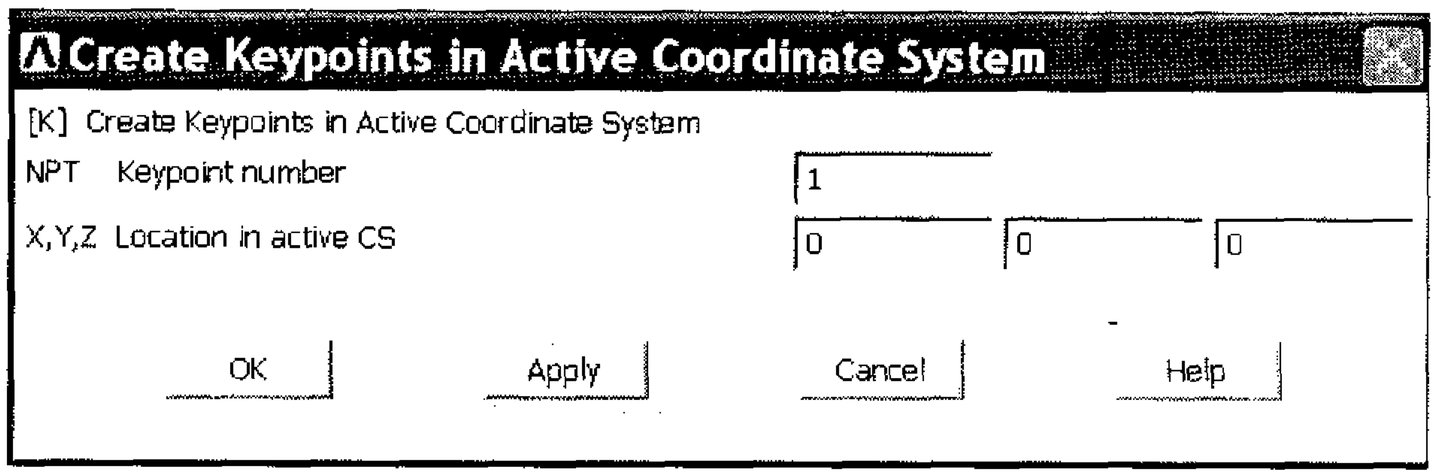
* Xây dựng mô hình hình học của dầm: Tạo các điểm (Keypoints) - Để xây dựng mô hình hình học của dầm ta tạo 3 điểm có tọa độ như sau 1(0,0,0), 2(2,0,0) và 3(5,0,0) với hệ đơn vị lựa chọn là kN và m. Cần chú ý là các đại lượng trong ANSYS đều không quy định đơn vị, người sử dụng tự chọn đơn vị và chọn thống nhất trong một bài toán, nếu không sẽ dẫn đến kết quả tính toán không phù hợp với thực tế. Trong ví dụ này độ dài là mét (m), lực là kiloNewton (kN).

Từ menu Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS > Xuất hiện bảng Create Keypoints in Active Coordinate System như ở hình 1.21.

Nhập điểm 1 với tọa độ X=0, Y=0, Z=0 > Apply

Nhập điểm 2 với tọa độ X=2, Y=0, Z=0 > Apply

Nhập điểm 3 với tọa độ X=5, Y=0, Z=0 > OK



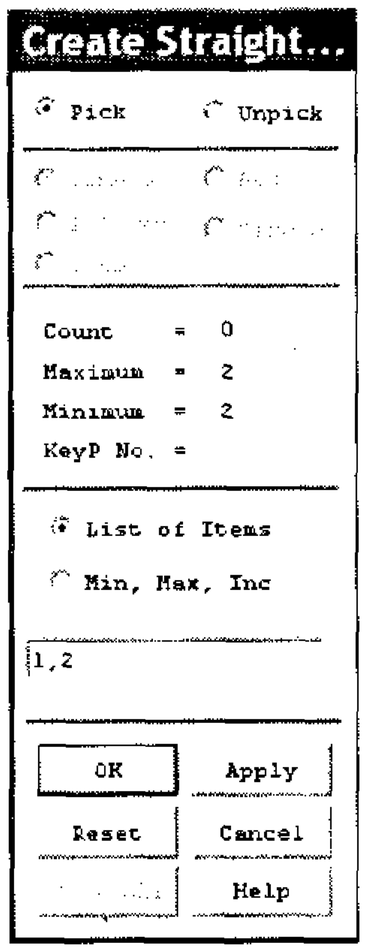
Hình 1.21. *Tạo điểm 1*

* Vẽ các đoạn thẳng (Lines): Từ Prep > Modeling > Create > Lines > Straight Lines > Nhấn chuột lần lượt vào nút 1-2, 2-3, ta có 2 đoạn thẳng như ở hình 1.23 > OK, cũng có thể nhập 1, 2 > Apply và 2,3 vào Create Straight Line như ở hình 1.22 > OK.

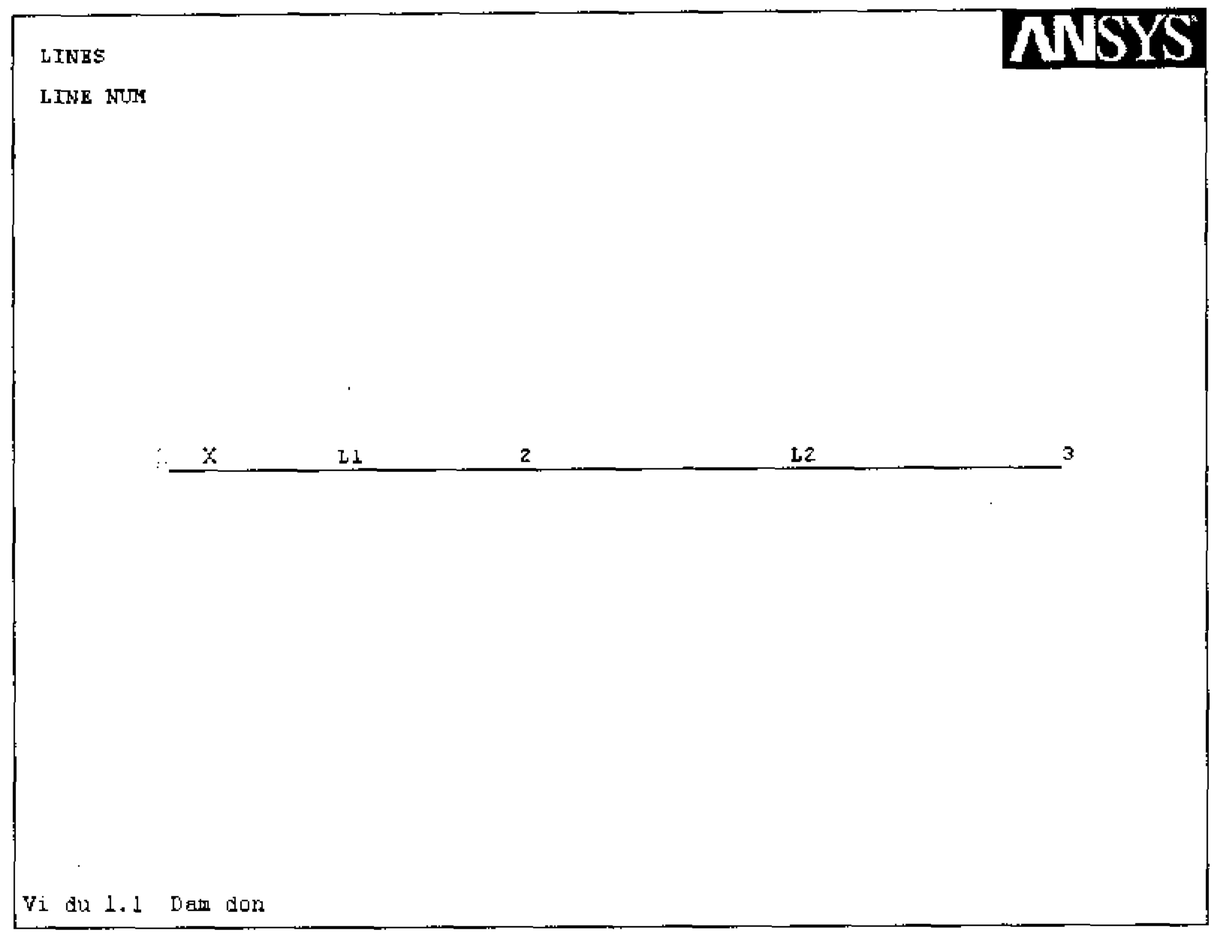
* Chọn loại phần tử (Element Type): Trong bài toán này ta chọn phần tử dầm (Beam) có hai điểm nút ở hai đầu phần tử, mỗi nút có 3 thành phần chuyển vị là UX, UY, ROT.

Prep > Element Type > Add/Edit/Delete > Xuất hiện bảng Element Types như ở hình 1.24 > Nhấn Add... > Xuất hiện bảng Library of Element Types như ở hình 1.25 > Chọn phần tử

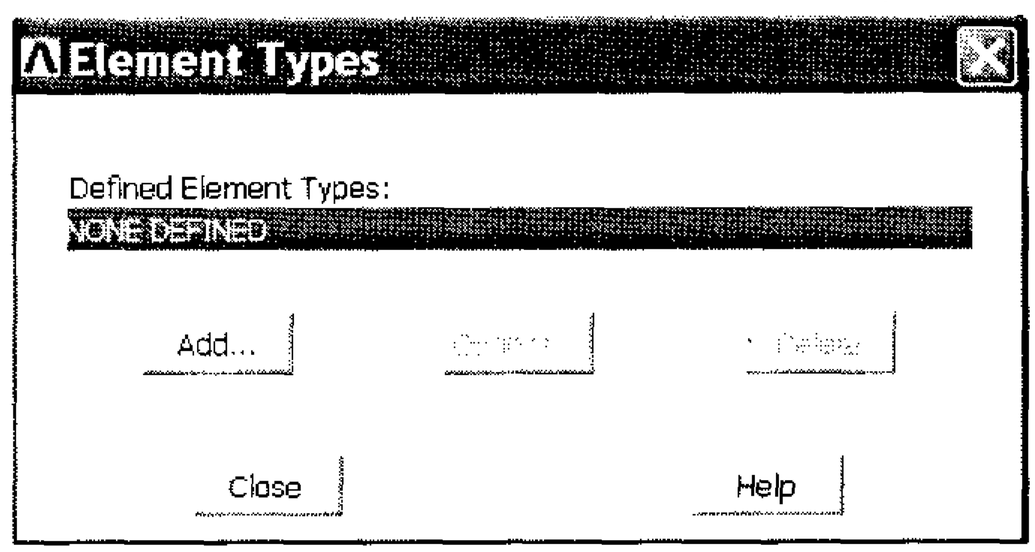
Beam ở cửa sổ trái và 2D elastic 3 ở cửa sổ phải ở hình này > OK → Xuất hiện lại bảng Element Types và BEAM3 đã được đưa vào danh sách như ở hình 1.26 > Nhấn Option... > Xuất hiện bảng BEAM3 Element Type Option > Chọn Include Output trong Member Force + Moment Output K6 như ở hình 1.27.



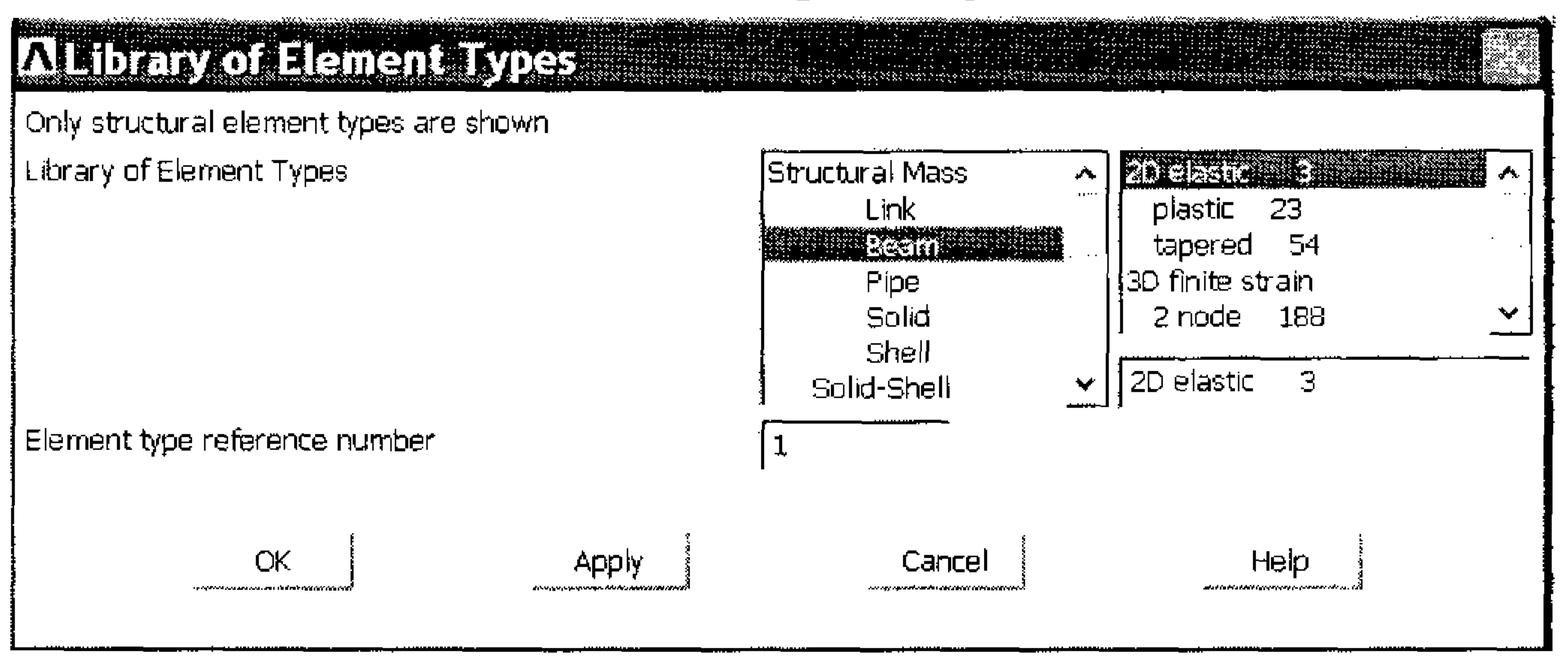
Hình 1.22



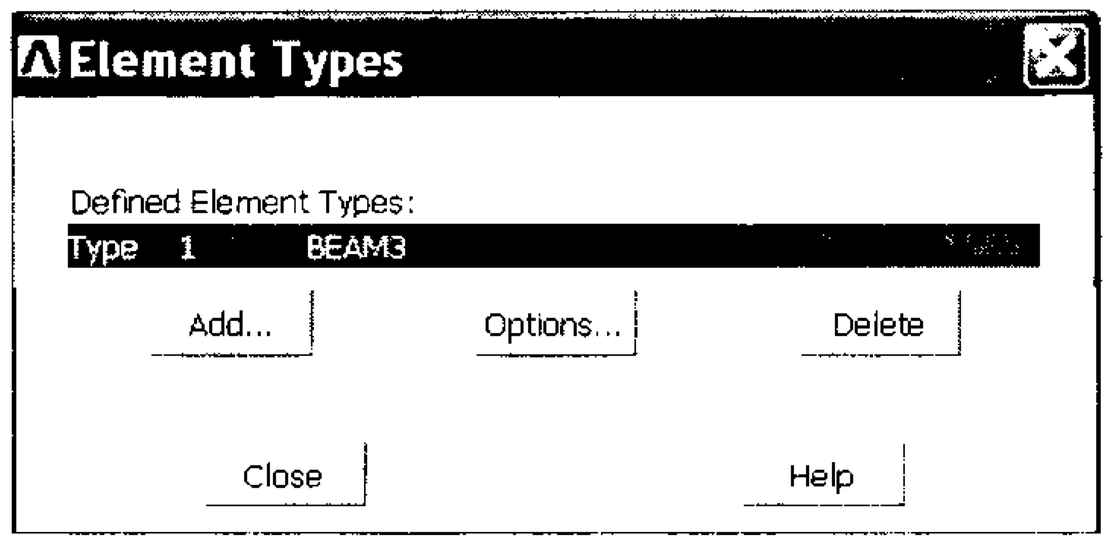
Hình 1.23. Mã nút và mã đường 2 đoạn thẳng



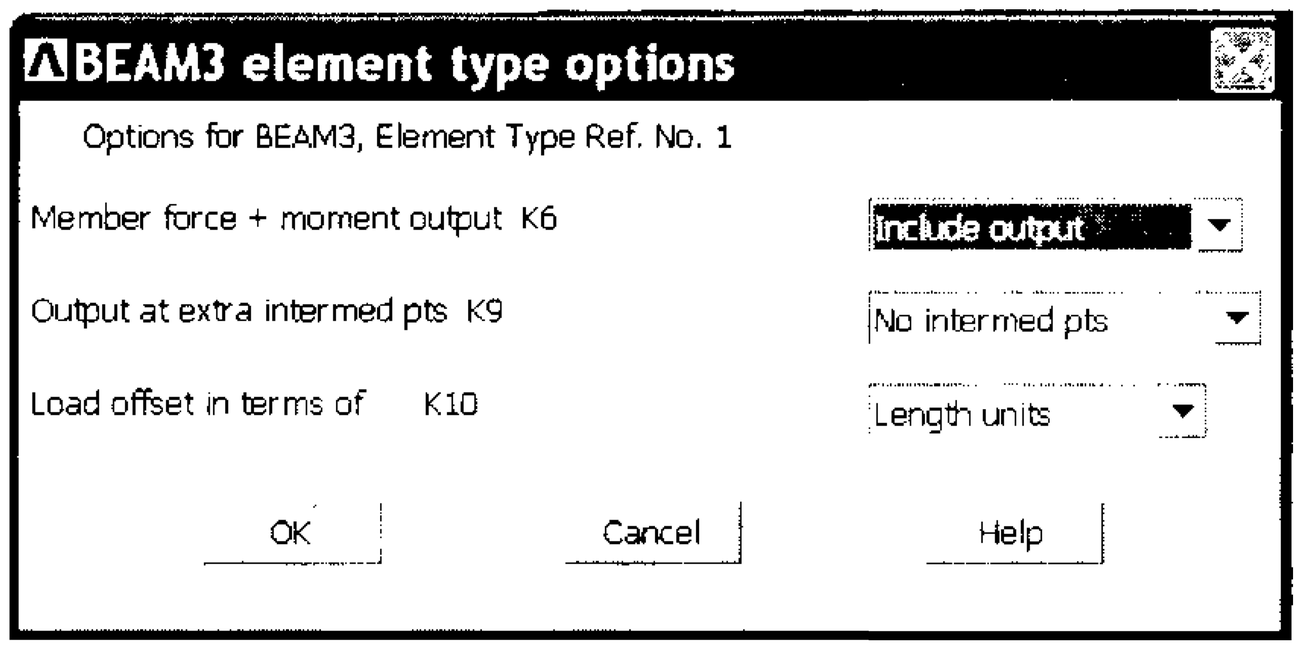
Hình 1.24. Định nghĩa loại phần tử



Hình 1.25. Chọn phần tử BEAM 3

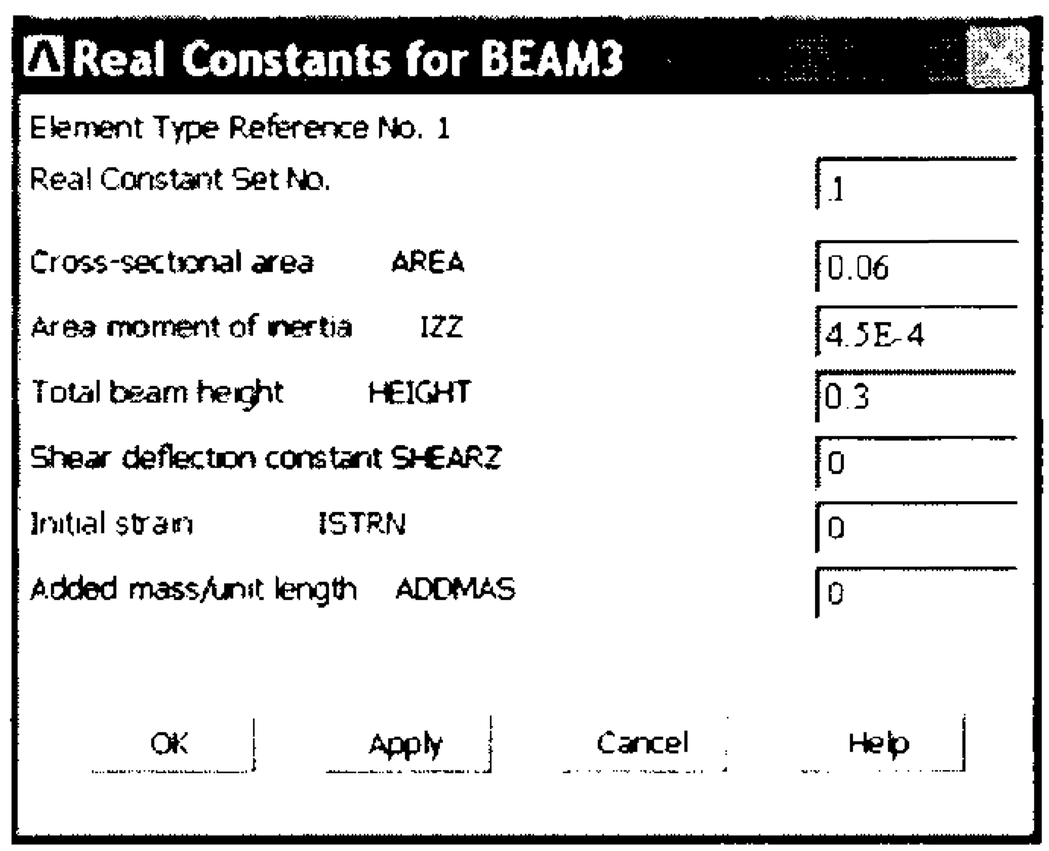


Hình 1.26. Phần tử BEAM3



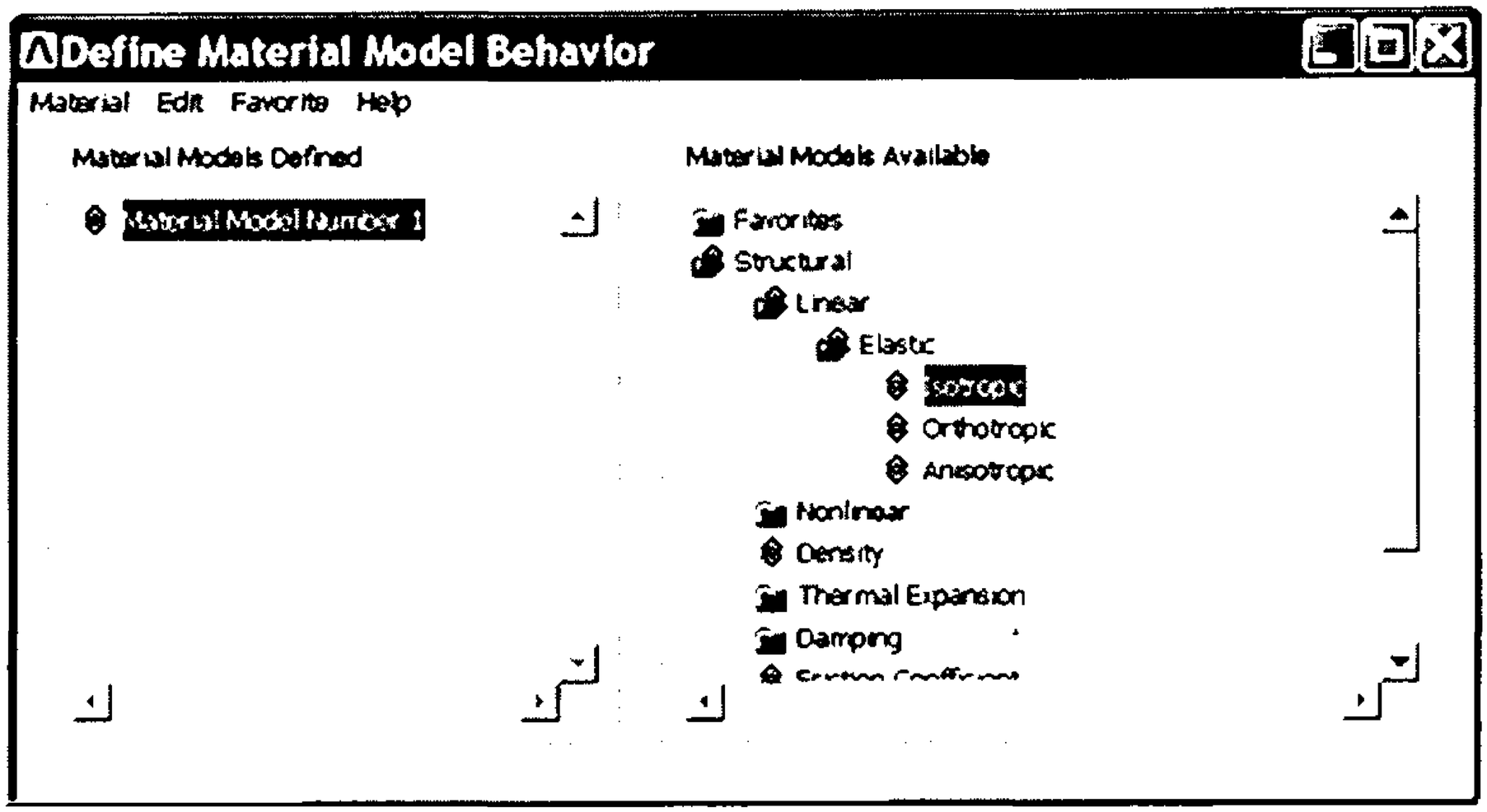
Hình 1.27. Chọn Options cho BEAM3

* Định nghĩa hằng số thực (Real Constant): Prep > Real Constant > Add/Edit/Delete > Xuất hiện bảng Real Constant > Add... > Xuất hiện bảng Real Constant for BEAM3 như ở hình 1.28 > Nhập các giá trị AREA = 0.06, IZZ = 4.5E - 4, HEIGHT = 0.3 > OK.



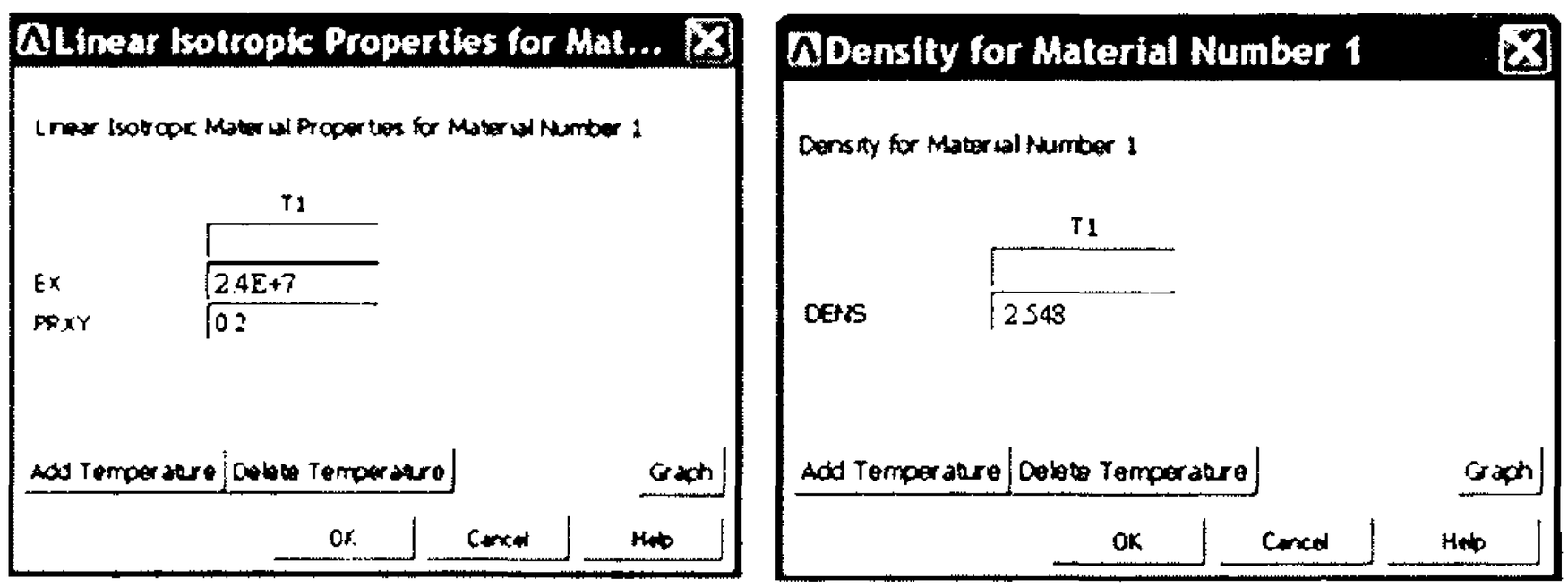
Hình 1.28. Định nghĩa đặc trưng hình học của BEAM3

* Định nghĩa thuộc tính của vật liệu: Prep > Material Props > Material Model > Xuất hiện bảng Define Material Model Behavior > Nhấn nút Structural > Linear > Elastic > Isotropic như ở hình 1.29.



Hình 1.29. Định nghĩa vật liệu

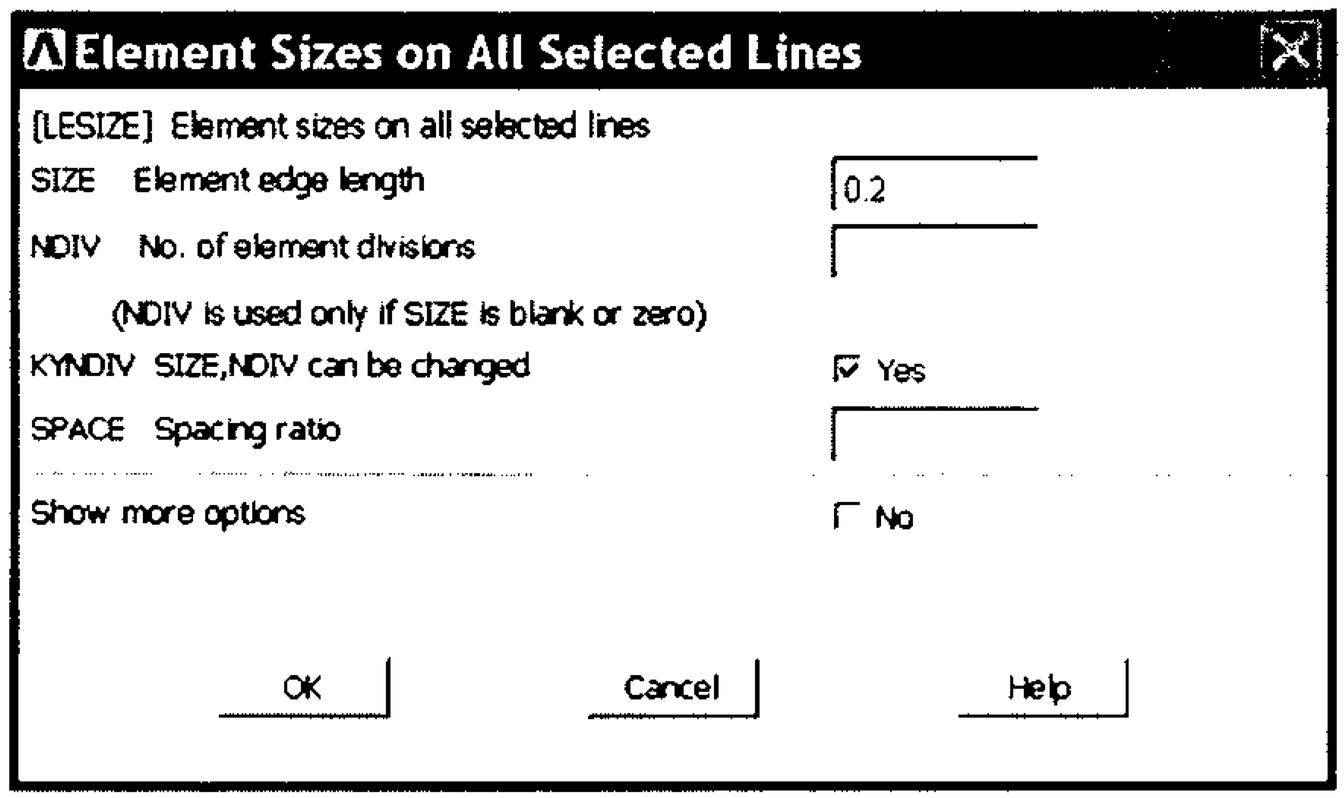
Xuất hiện bảng Linear Isotropic Properties for Material 1 như ở hình 1.30 > Nhập mô đun đàn hồi EX = 2.4E + 7 và hệ số Poisson PRXY = 0.2 > Để nhập khối lượng riêng > Density > Xuất hiện bảng Density for Material Number 1 > Nhập khối lượng riêng DENS = 2.548 (25/9.81 = 2.548). Để thoát khỏi chức năng này > Nhấn vào Material ở hàng trên cùng góc bên trái của hình 1.29 > Nhấn Exit.



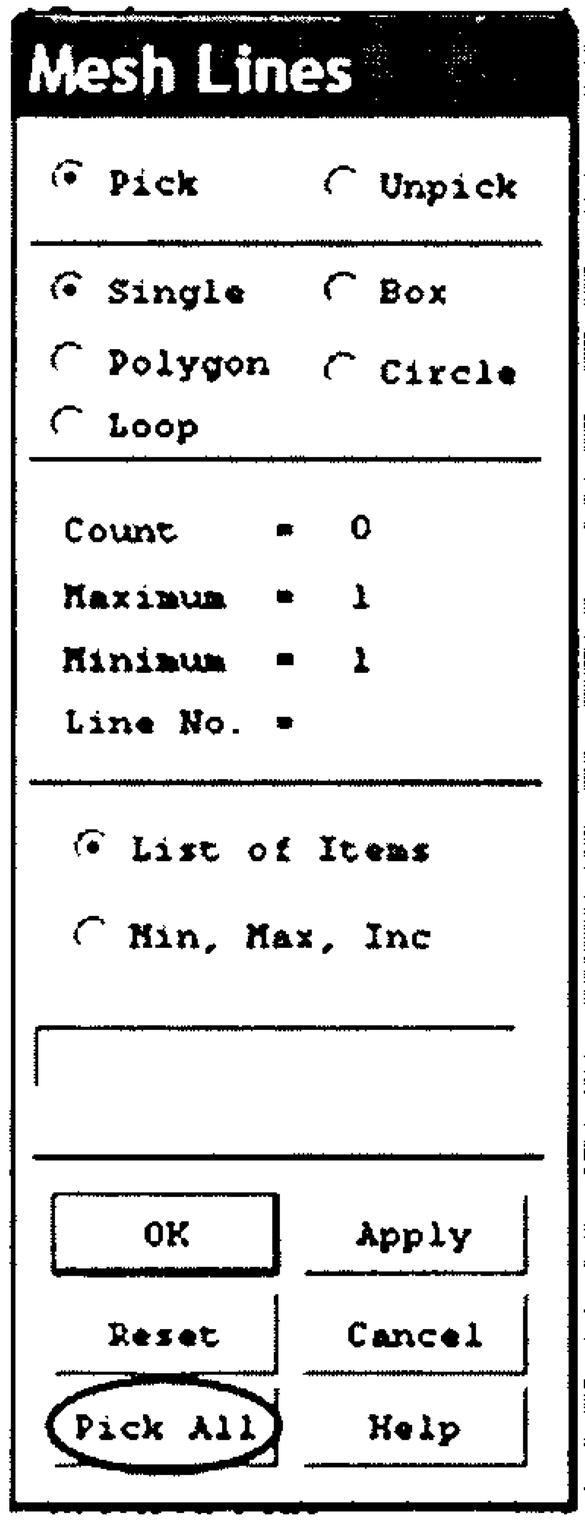
Hình 1.30. Nhập đặc trưng cơ học của vật liệu

* Định nghĩa kích thước lưới: Prep > Meshing > Size Cntrls > Manual Size > Lines > All Lines > Xuất hiện bảng Element Sizes on All Selected Lines > Nhập chiều dài cạnh phần tử SIZE = 0.2 như ở hình 1.31 > OK.

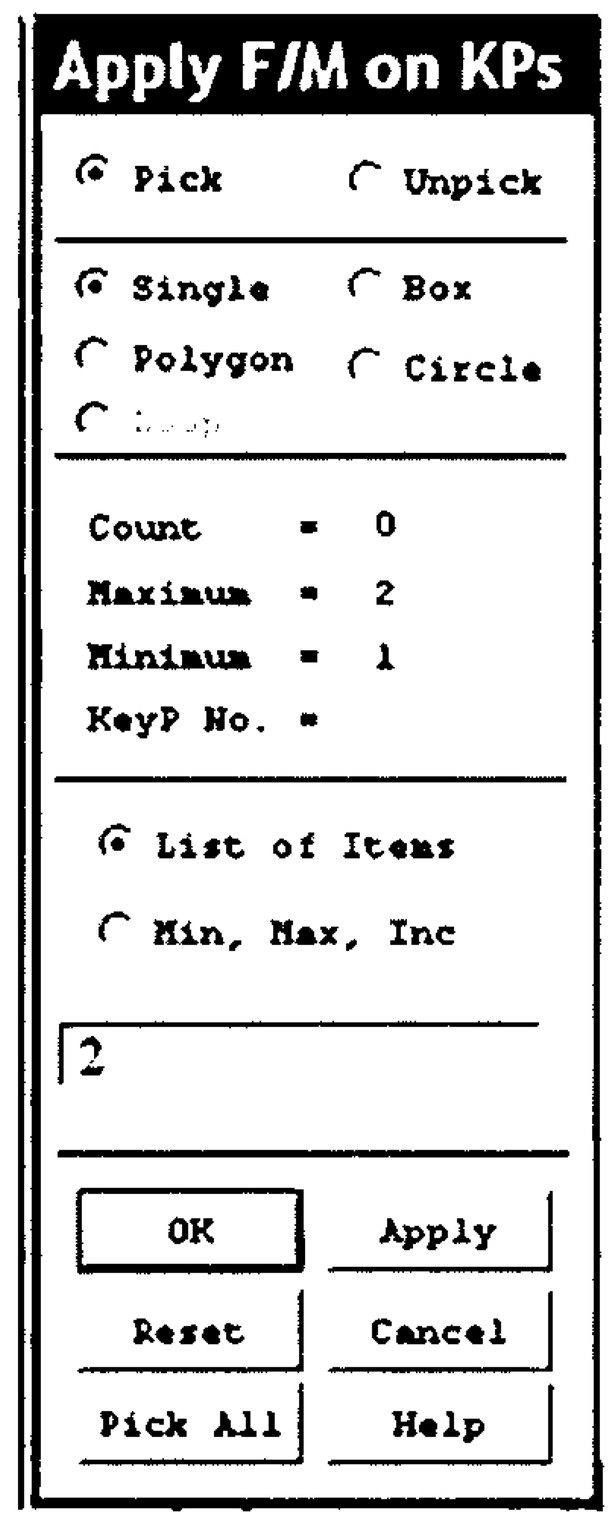
* Chia lưới phần tử: Prep > Meshing > Mesh > Lines > Xuất hiện bảng Mesh Lines như ở hình 1.32 > Nhấn vào nút Pick All.



Hình 1.31. Định nghĩa kích thước phần tử

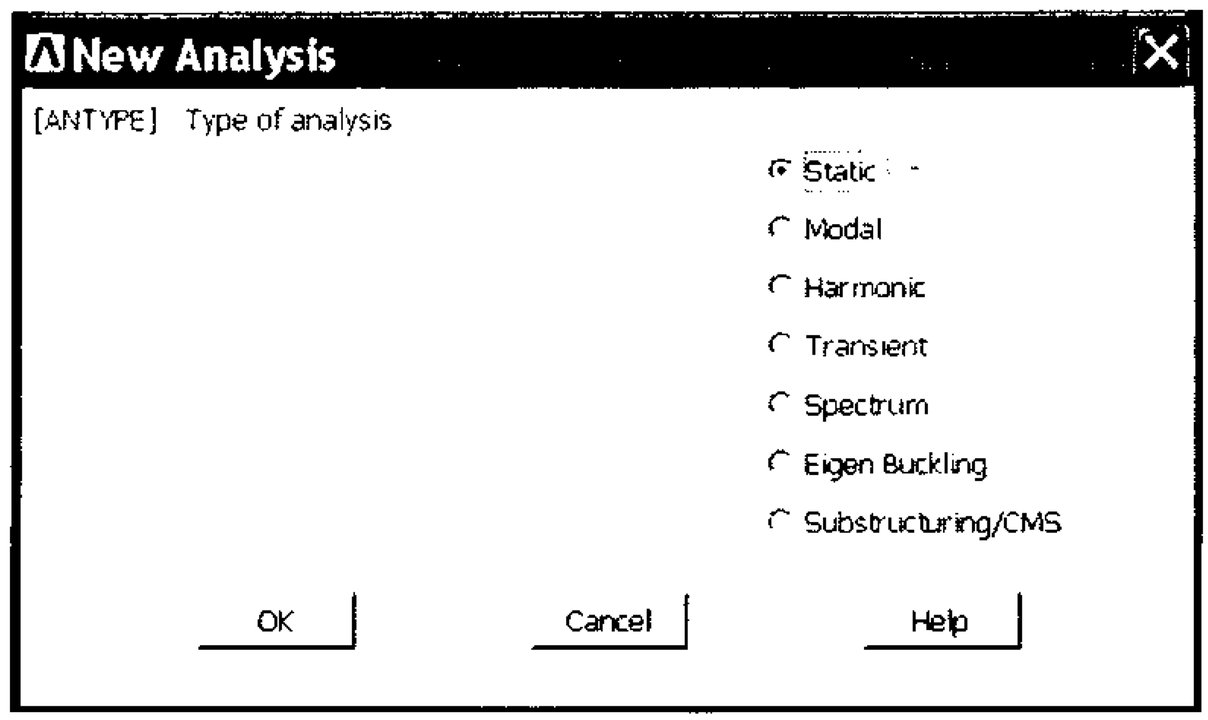


Hình 1.32



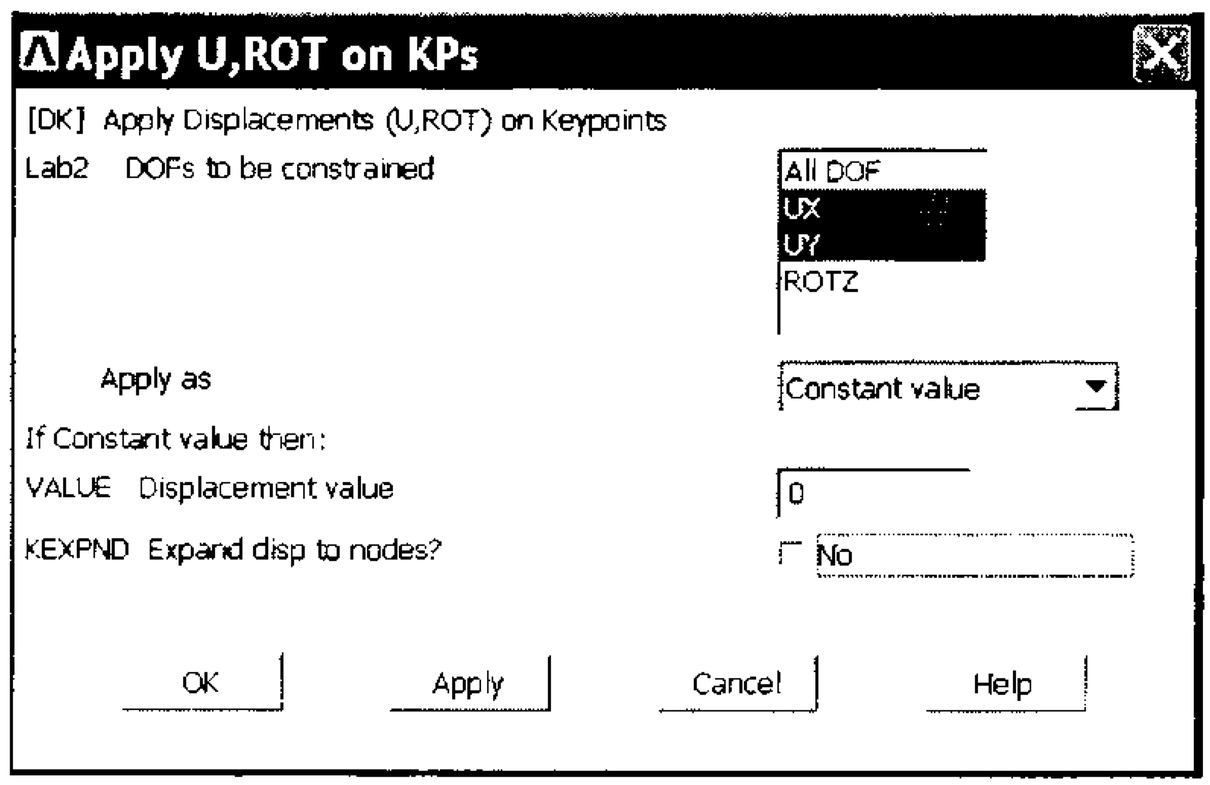
Hình 1.33

* Chọn kiểu phân tích: Solution > Analysis Type > New Analysis > Xuất hiện bảng New Analysis như ở hình 1.34 > Chọn • Static > OK.

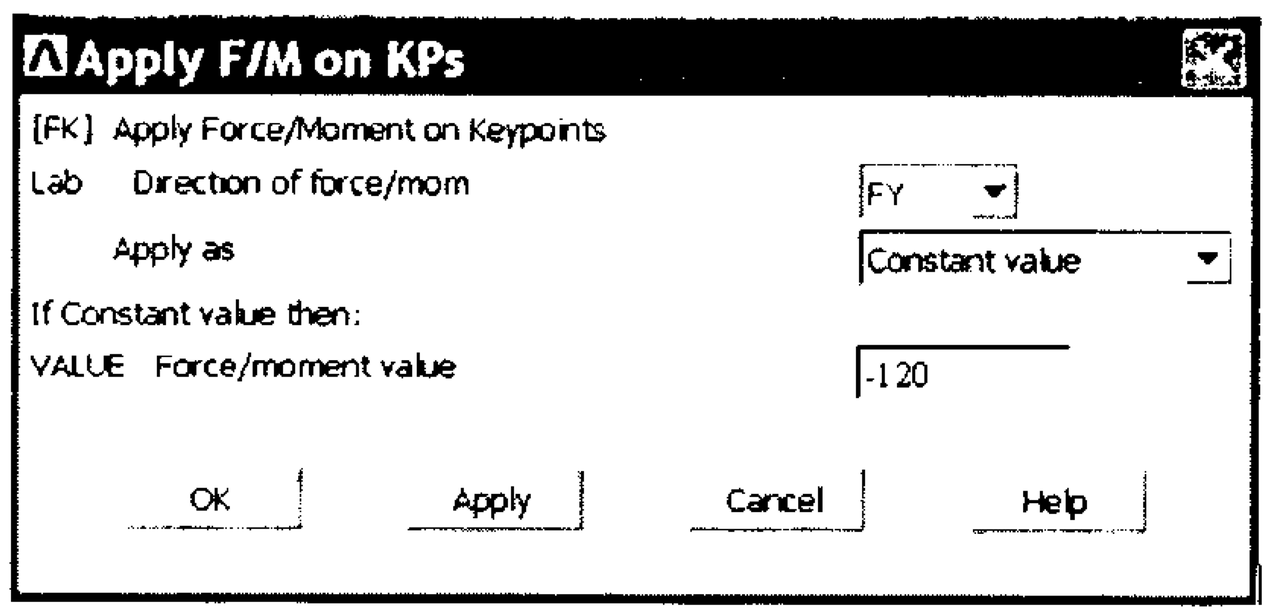


Hình 1.34. *Chọn kiểu phân tích*

* Gán liên kết: Solution > Define Loads > Apply > Displacement > On Keypoints > Chọn điểm 1 > Apply > Xuất hiện bảng Apply U, ROT on KPs như ở hình 1.35 > Chọn UX, UY > Nhập giá trị chuyển vị VALUE = 0 > Apply. Chọn tiếp điểm 3 > OK > Chọn UY > Nhập giá trị chuyển vị VALUE = 0 > OK.



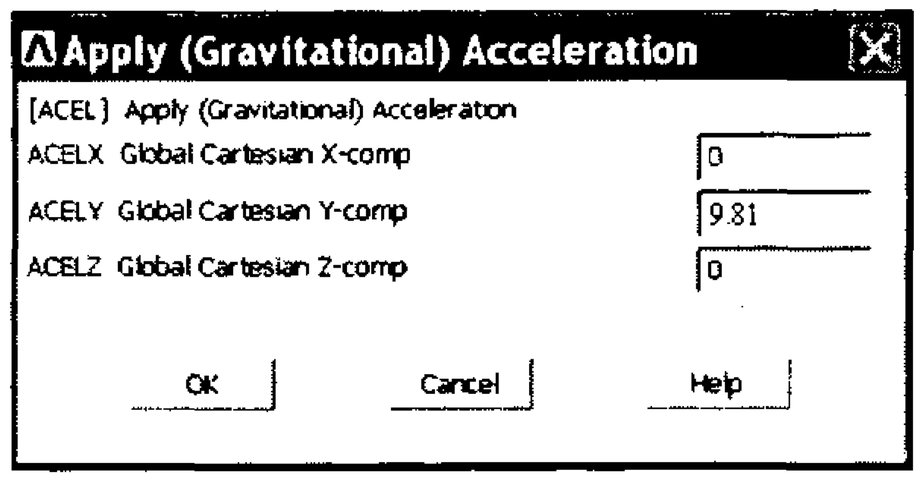
Hình 1.35. *Gán liên kết vào nút 1*



Hình 1.36. *Gán tải trọng vào dầm*

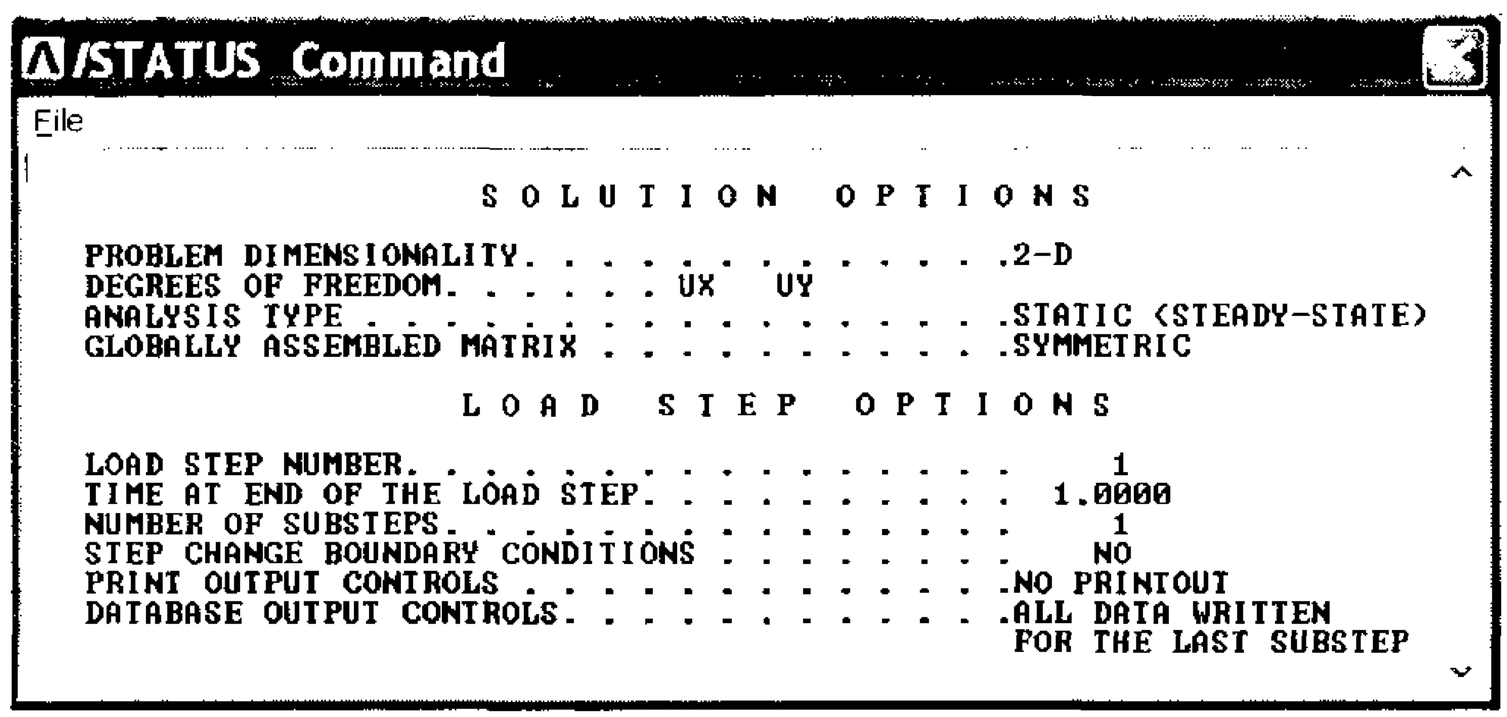
* Gán tải trọng vào dầm: Gán tải trọng tập trung: Solution > Structural > Force/Moment > Nhấn chuột vào điểm 2 hoặc nhập 2 vào bảng Apply F/M on KPs như ở hình 1.33 > Nhấn Apply > Xuất hiện bảng Apply F/M on KPs như ở hình 1.36 > Chọn tải trọng đứng FY > Nhập giá trị của lực VALUE = -120 > Apply. Tiếp theo nhấn chuột vào nút 3 > OK > Chọn tải trọng ngang FX, nhập giá trị của lực VALUE = 80 > OK, ta có sơ đồ tính toán dầm đơn chịu 2 lực tập trung.

Gán trọng lượng bản thân: Solution > Define Loads > Apply > Structural > Inertia > Gravity > Global > Xuất hiện bảng Apply (Gravitational) Acceleration như ở hình 1.37 > Nhập ACELY = 9.81 > OK.

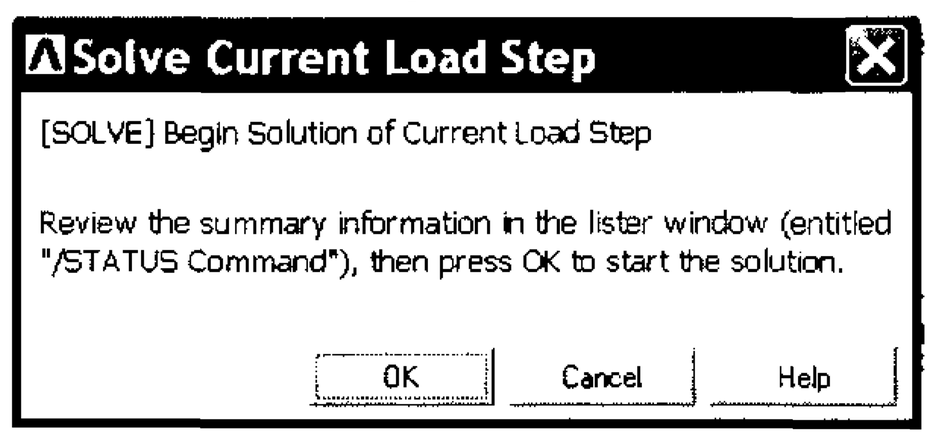


Hình 1.37. Nhập gia tốc trọng trường

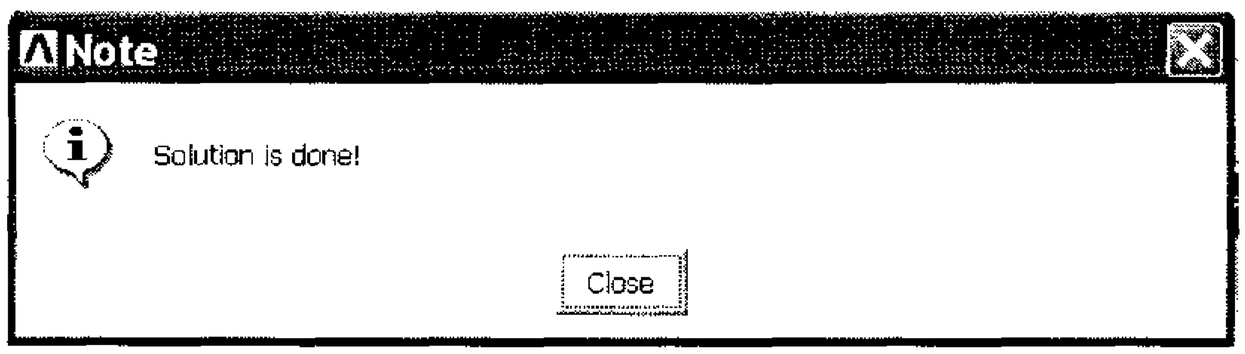
* Chạy chương trình: Từ Menu Solution > Solve > Current LS > Xuất hiện bảng STATUS Command và bảng Solve Current Load Step như ở hình 1.38, thông báo tóm tắt các thông tin trước khi tính toán. Nhấn OK để bắt đầu tính đến khi xuất hiện bảng Solution is done như ở hình 1.40 cho biết việc tính toán đã hoàn thành > Close.



Hình 1.38. Các thông tin trước khi giải bài toán



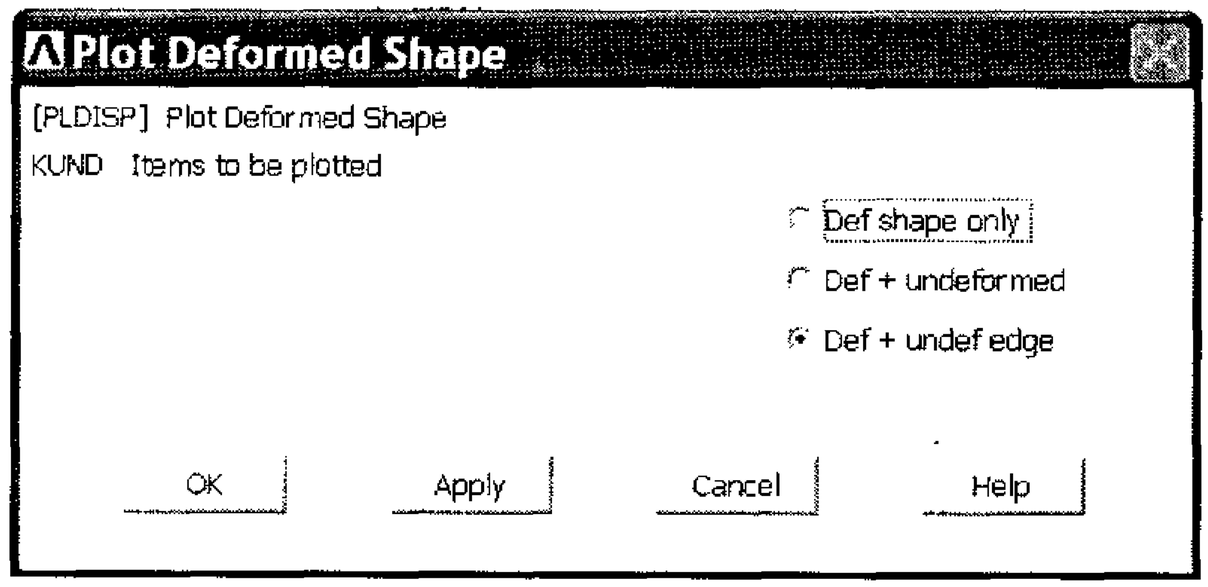
Hình 1.39. Thông tin về các lựa chọn tính toán



Hình 1.40. Quá trình tính toán đã hoàn thành

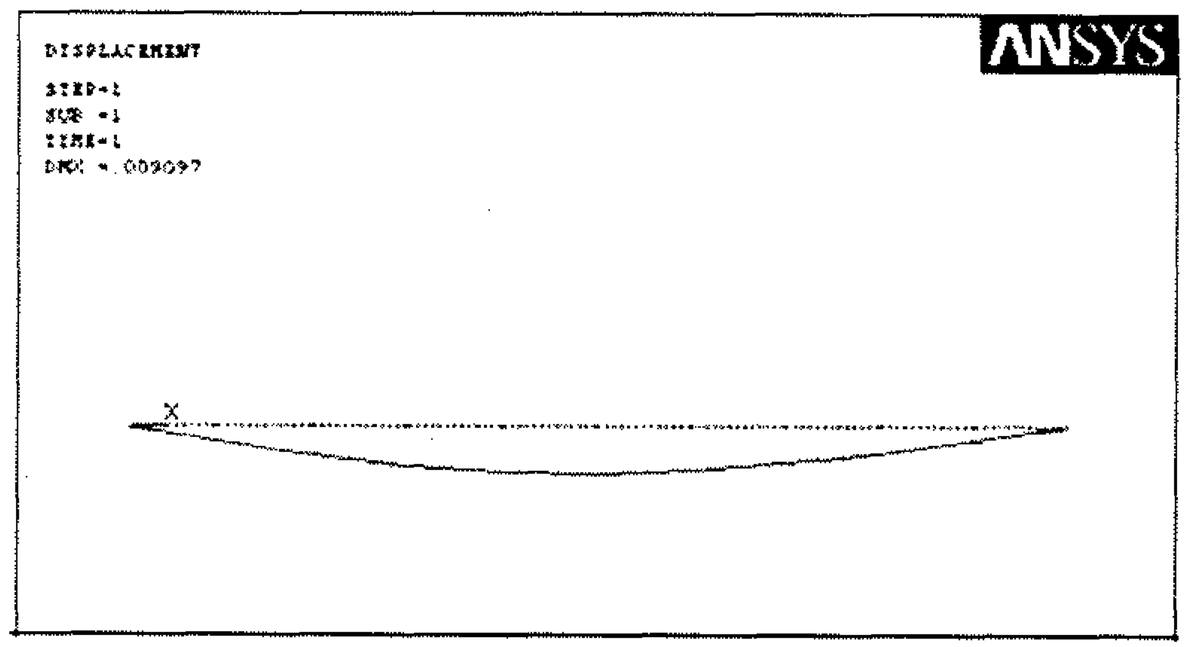
b) Khai thác kết quả tính toán

* Độ võng của dầm: Chuyển vị toàn phần: Main Menu > General Postproc > Plot Results > Deformed Shape > Xuất hiện bảng Plot Deformed Shape như ở hình 1.41 > Nhấn chuột chọn ⊙ Def + undef edge > Ta có hình dạng biến dạng của dầm như ở hình 1.42, phía góc trên bên trái hình này cho biết chuyển vị lớn nhất của dầm DMX = 0.028553m.

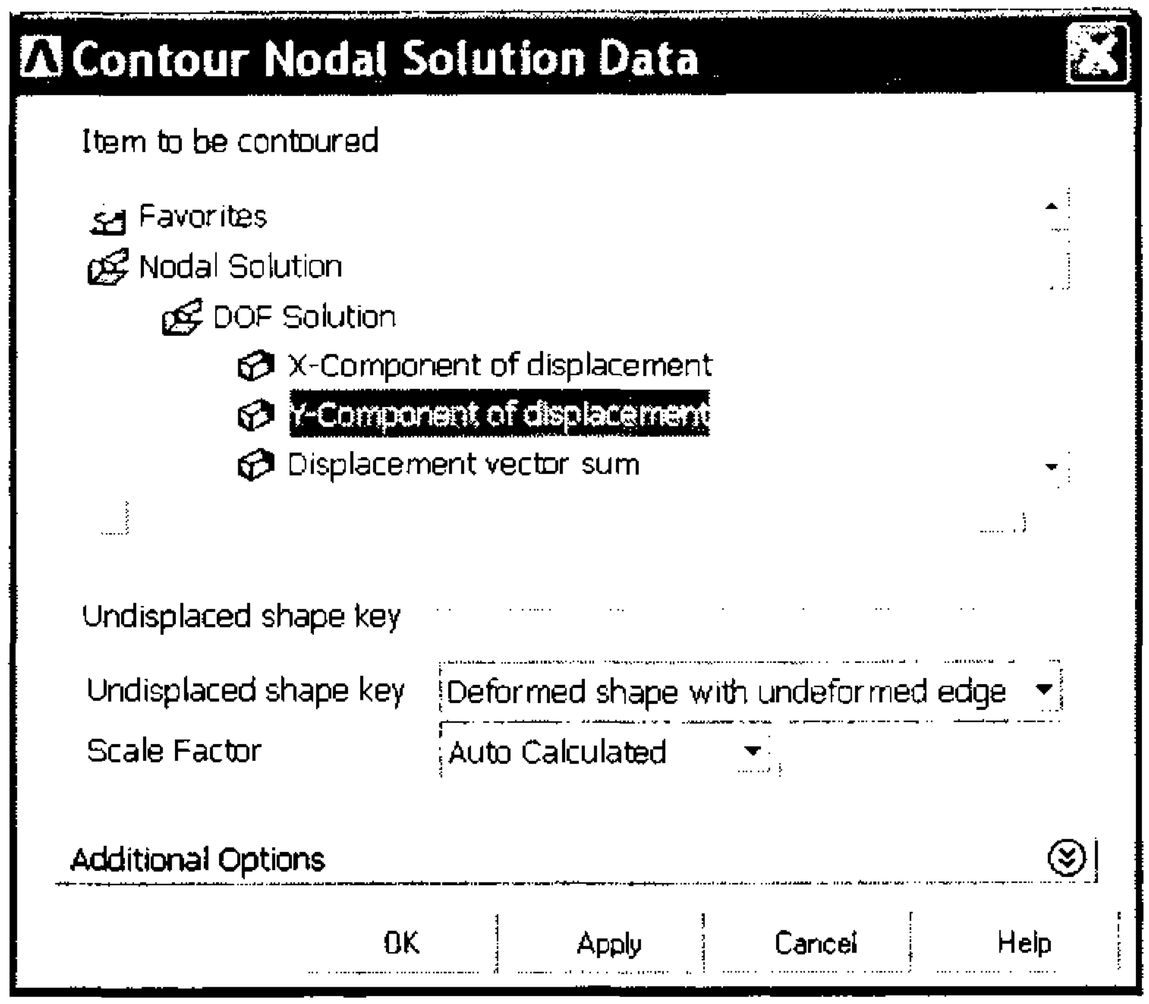


Hình 1.41. Lệnh xuất hình dạng biến dạng của dầm

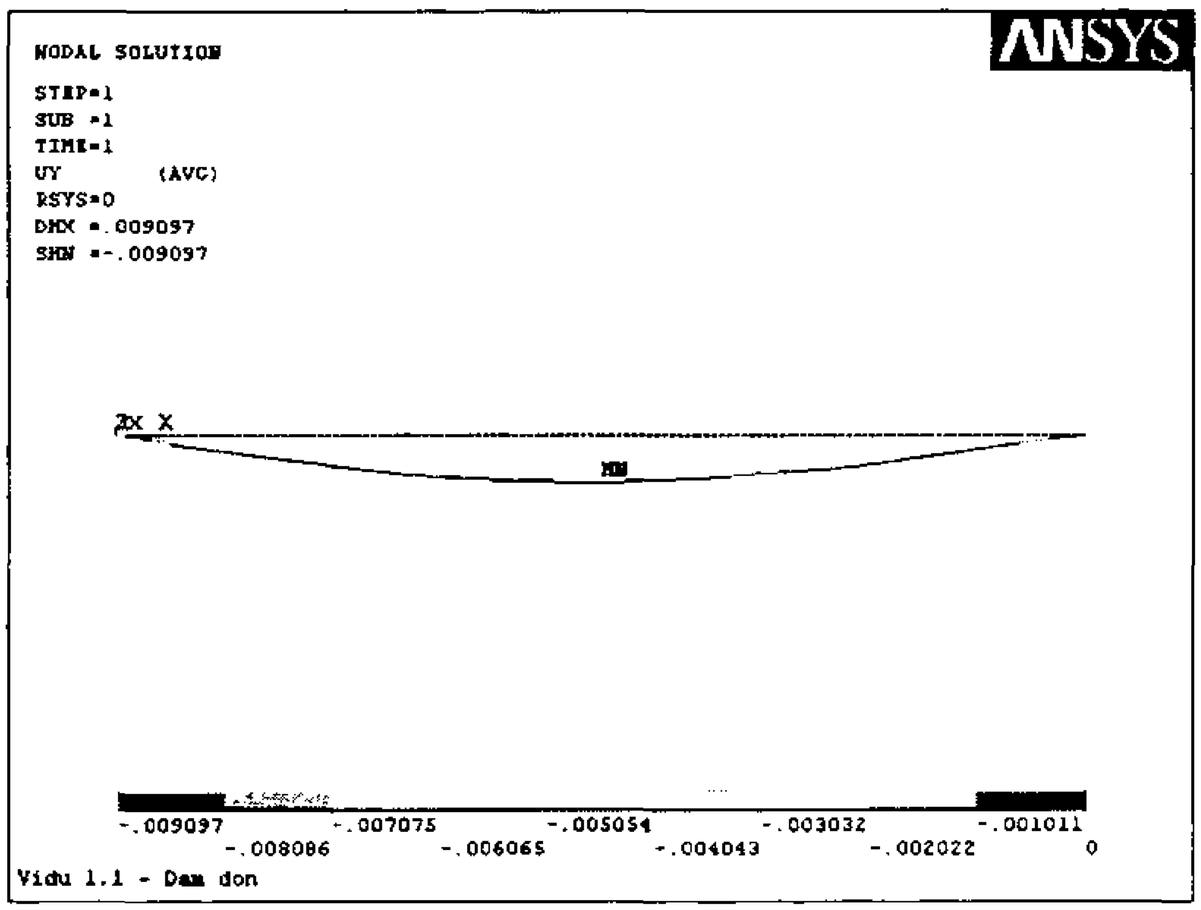
Thành phần chuyển vị đứng UY: General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Nodal Solution > Xuất hiện bảng Nodal Contour Solution Data như ở hình 1.43 > Nhấn chuột vào Nodal Solution > DOF Solution > Y-Component of Displacement > Xuất hiện hình dạng biến dạng của dầm theo phương Y như ở hình 1.44. Góc trên bên phía trái của hình này thông báo chuyển vị lớn nhất của dầm DMX = 0.009097m và thành phần chuyển vị theo phương Y bằng SMN = -0.009097m do trọng lượng bản thân và do tải trọng sinh ra.



Hình 1.42. Hình dạng biến dạng của dầm



Hình 1.43. Chọn đối tượng xuất kết quả tính toán



Hình 1.44. Biến dạng UY của dầm

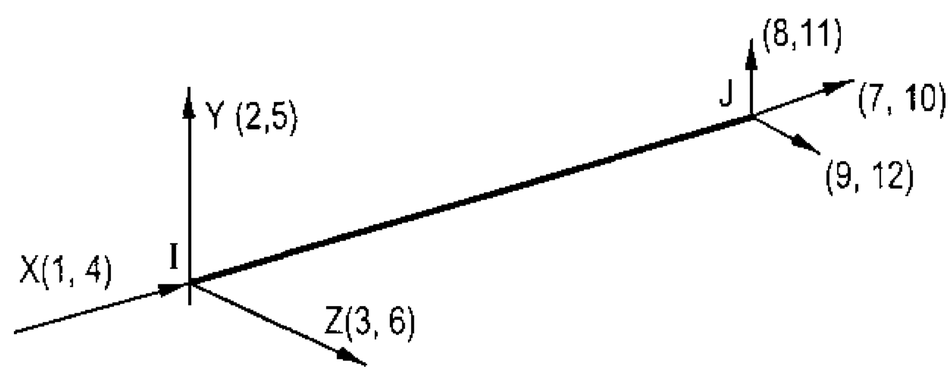
* Biểu đồ mômen uốn, lực cắt và lực dọc: Định nghĩa mã nội lực hai đầu phần tử thanh: General Postprocessor > Element Table > Define Table > Xuất hiện bảng Define Additional Element Table Items như ở hình 1.46 > Với đối tượng xuất là biểu đồ mômen uốn, ta nhập mã đầu I là MI với SMISC, 6 > Apply > Tiếp tục nhập mã đầu J là MJ với SMISC, 12 > Apply.

Với đối tượng xuất là biểu đồ lực cắt, ta nhập :

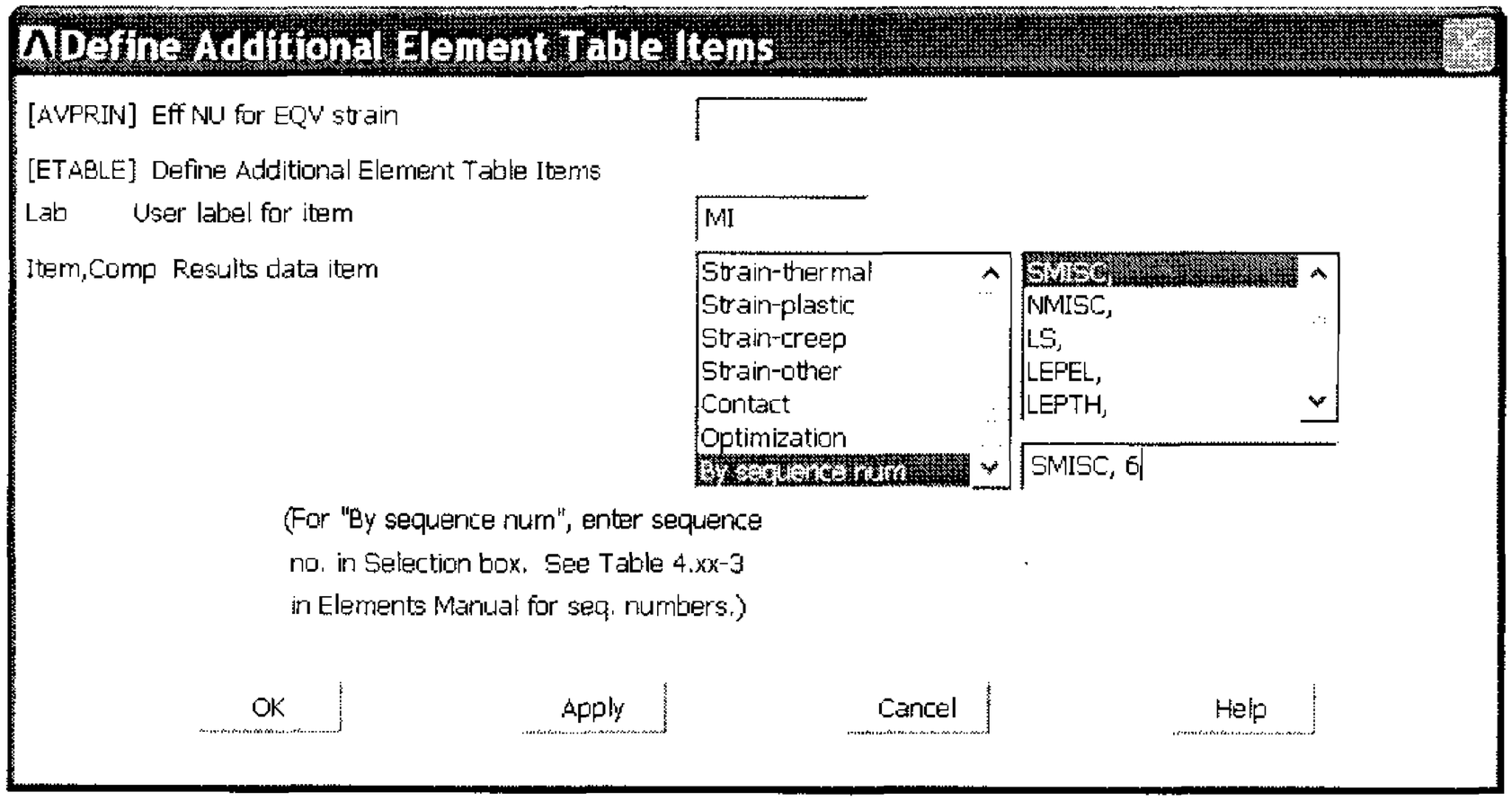
Lab: QI với SMISC, 2 > Apply; Lab: QJ với SMISC, 8 > Apply.

Với đối tượng xuất là biểu đồ lực dọc, ta nhập:

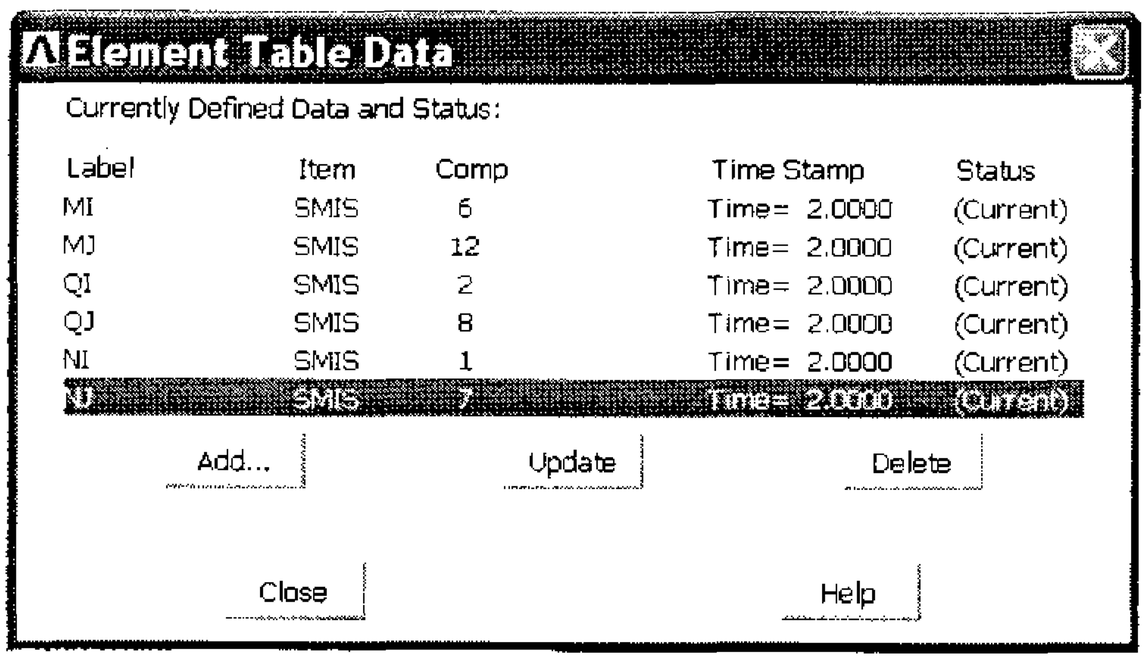
Lab: NI với SMISC, 1 > Apply; Lab: NJ với SMISC, 7 > OK, được tổng hợp ở bảng Element Table Data như ở hình 1.47, trong đó 1, 2, 6, 7, 8, 12 là mã chuyển vị đầu I và đầu J của phần tử thanh được quy ước như ở hình 1.45. Số đầu ứng với chuyển vị thẳng, số sau ứng với chuyển vị góc.



Hình 1.45. *Quy ước về mã chuyển vị nút ở hai đầu phần tử dầm*



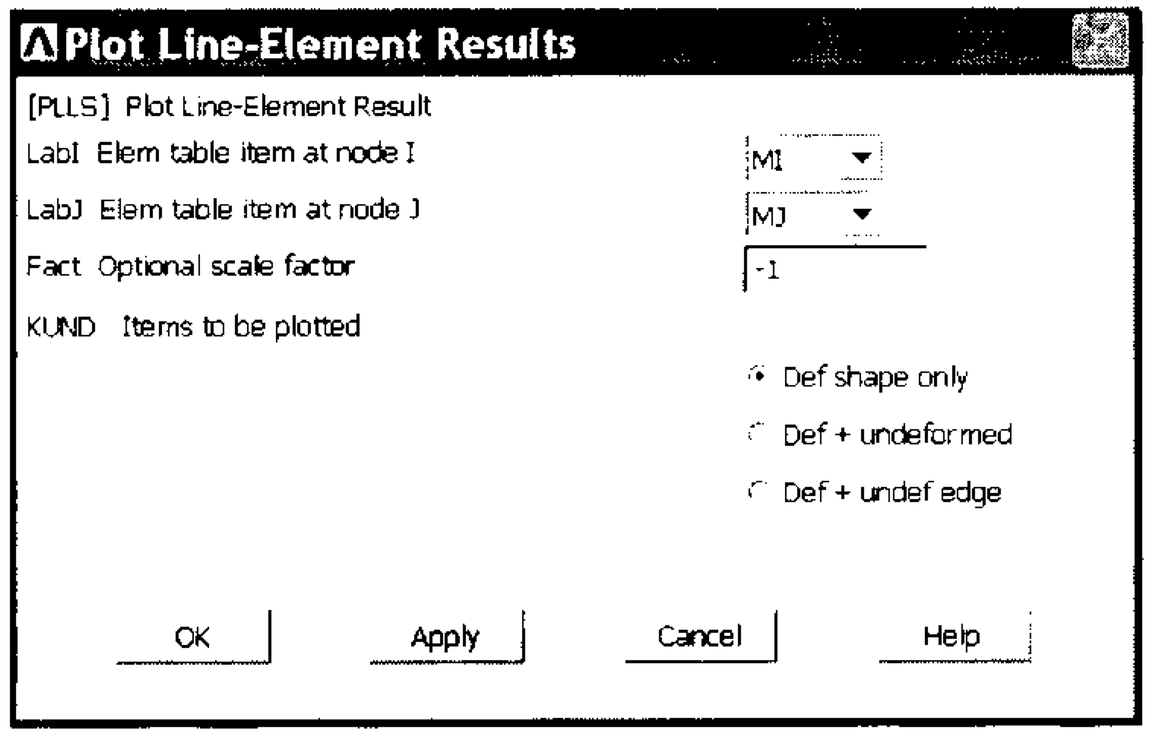
Hình 1.46. *Định nghĩa mã nội lực MI ở đầu I của phần tử khi chịu uốn*



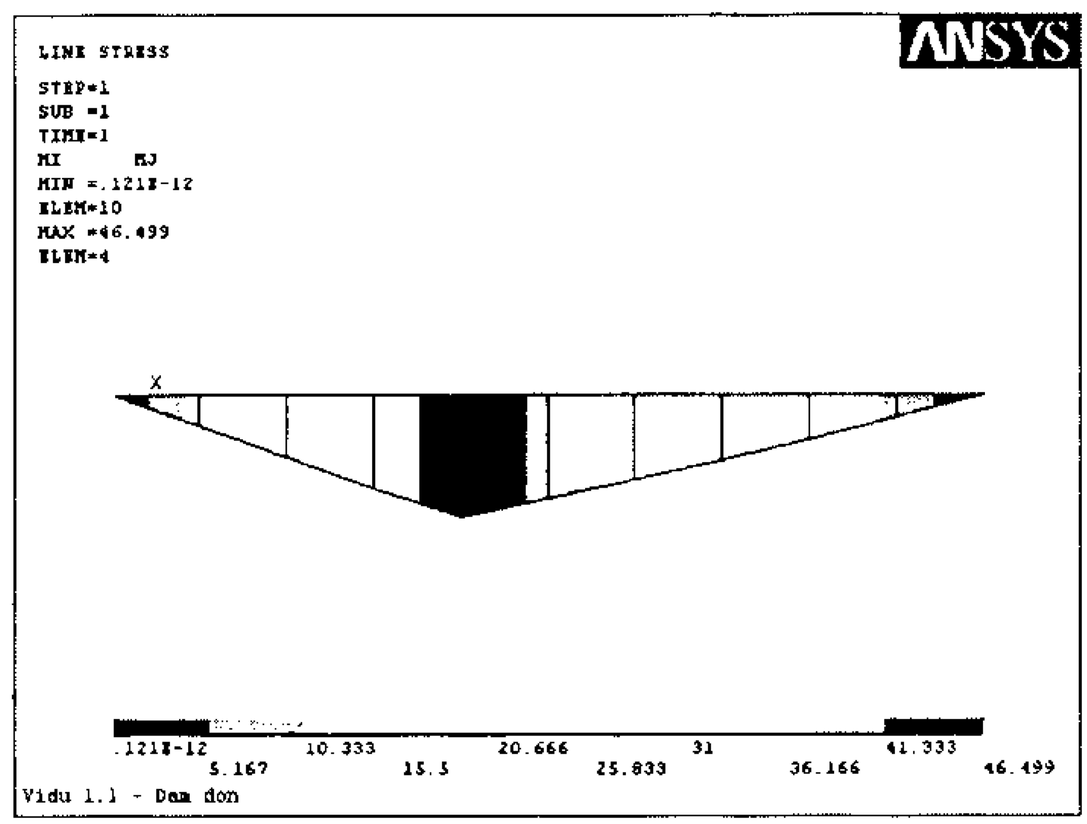
Hình 1.47. *Bảng số liệu mã nội lực hai đầu phần tử*

Hiển thị biểu đồ mômen uốn: General Postprocessor > Plot Result > Contour Plot > Line Element Result > Xuất hiện bảng Plot Line - Element Results > Chọn mã nội lực ở nút I là MI

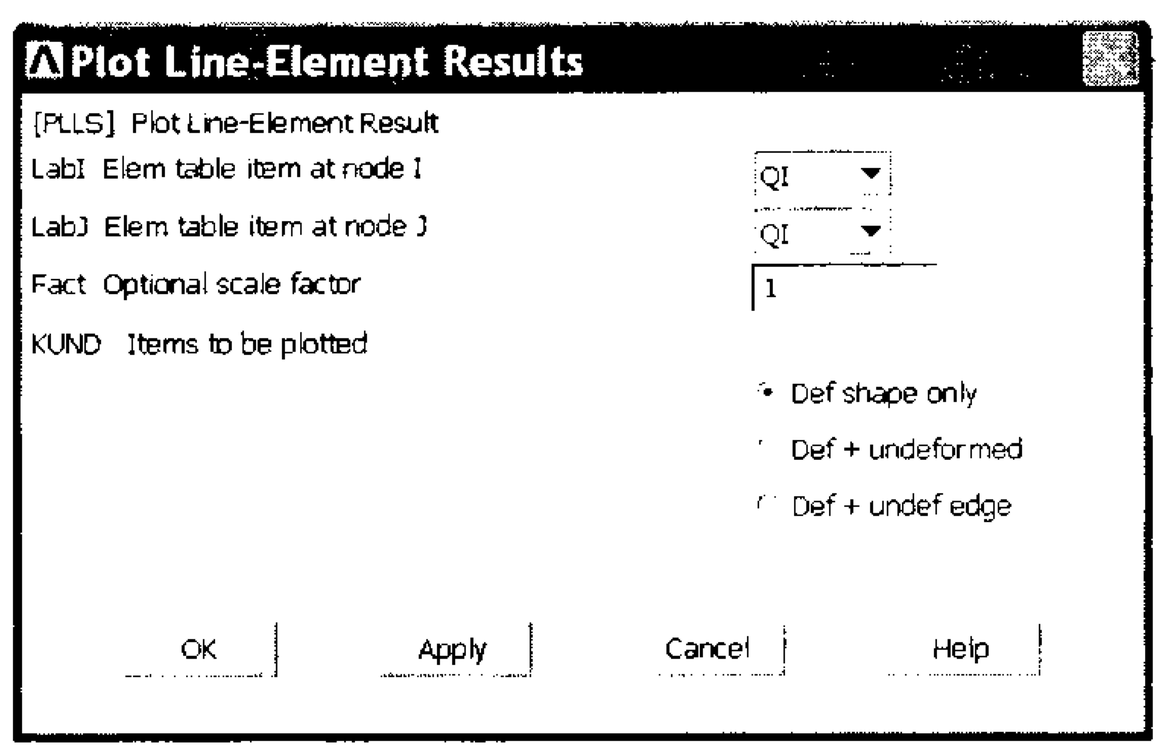
và nút J là MJ như ở hình 1.48 > Nhấn OK, ta có biểu đồ mômen uốn như ở hình 1.49. Giá trị mômen lớn nhất tại phần tử 4 bằng MAX = 46.499kNm.



Hình 1.48. Lệnh hiển thị biểu đồ mômen uốn

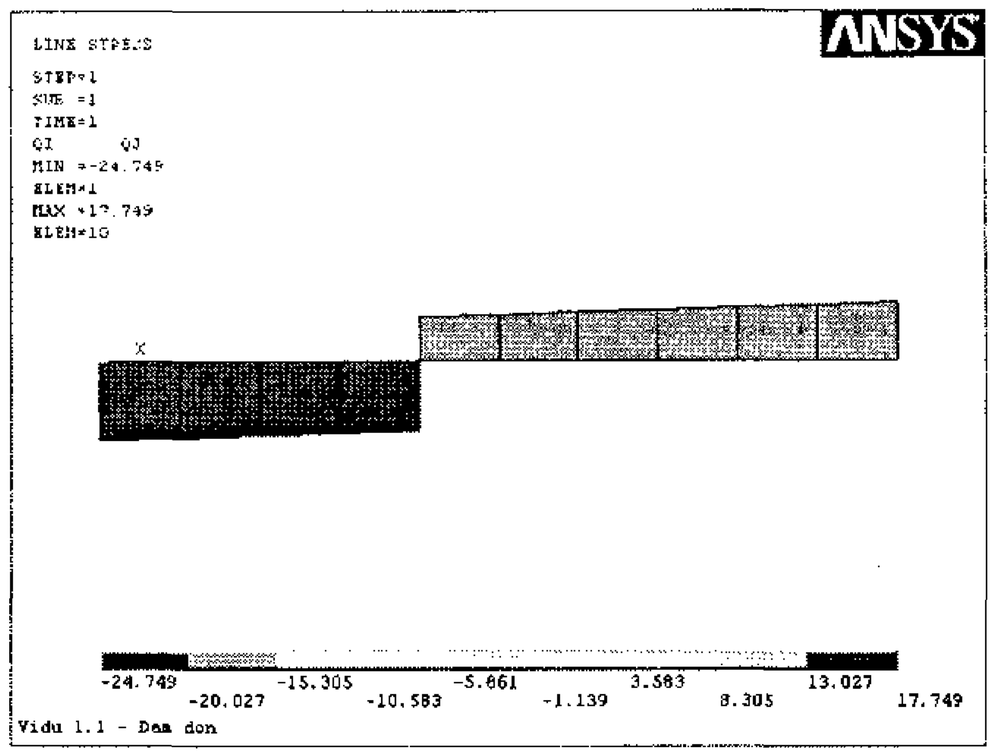


Hình 1.49. Biểu đồ mômen uốn



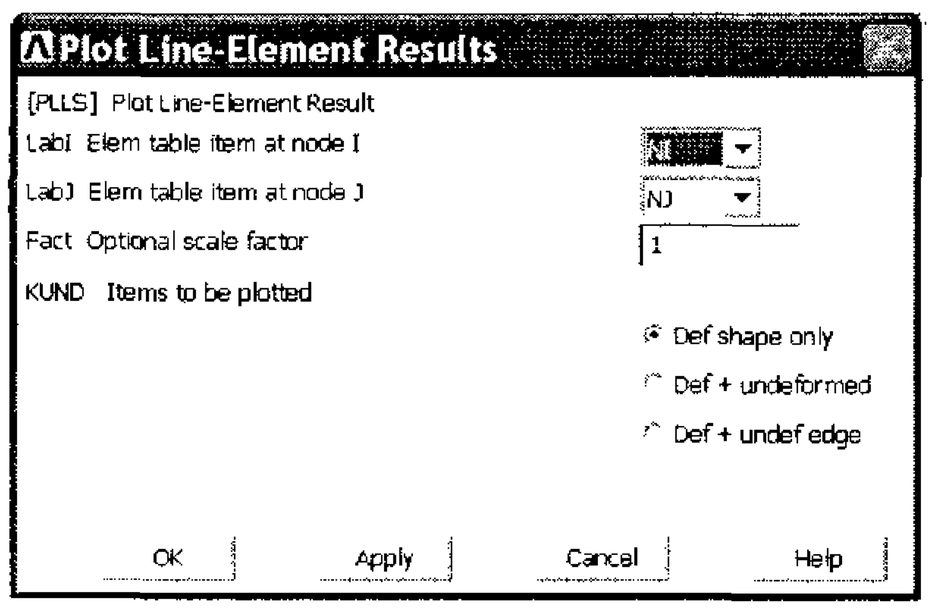
Hình 1.50. Lệnh hiển thị biểu đồ lực cắt

Hiển thị biểu đồ lực cắt: General Postprocessor > Plot Resul > Contour Plot > Line Element Result > Xuất hiện bảng Plot Line - Element Results > Chọn mã lực cắt ở nút I là QI nút J là QJ như ở hình 1.50: Nhấn OK ta có biểu đồ lực cắt như ở hình 1.51.

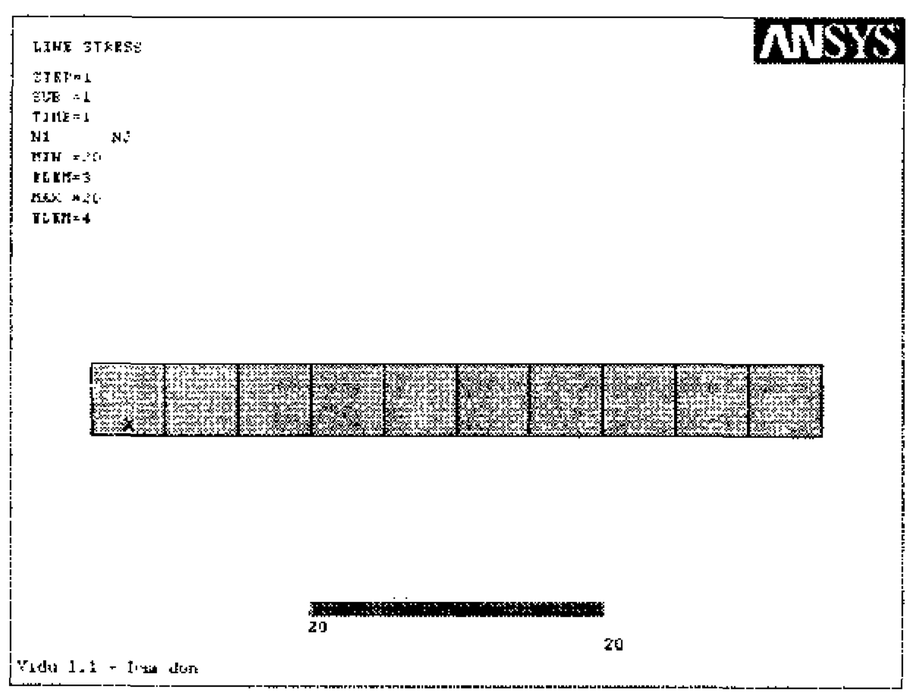


Hình 1.51. *Biểu đồ lực cắt*

Hiển thị biểu đồ lực dọc: General Postprocessor > Plot Resul > Contour Plot > Line Element Result > Xuất hiện bảng Plot Line - Element Results > Chọn mã lực dọc ở nút I là NI và nút J là NJ như ở hình 1.52 > Nhấn OK, ta có biểu đồ lực dọc như ở hình 1.53.

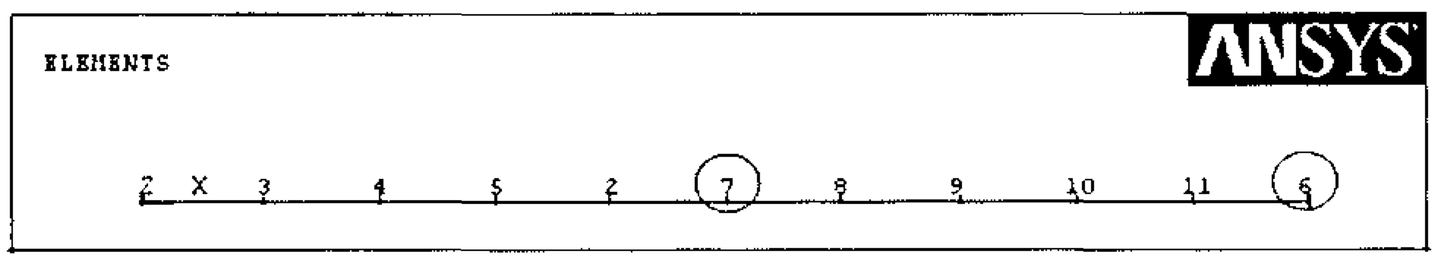


Hình 1.52. *Lệnh hiển thị biểu đồ lực dọc*



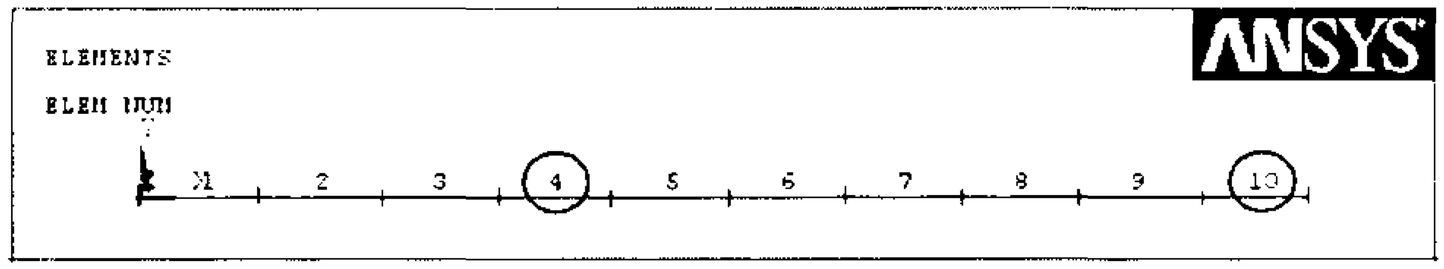
Hình 1.53. *Biểu đồ lực dọc*

* Xuất giá trị chuyển vị, nội lực và phản lực liên kết: Hiển thị mã các điểm nút (Nodes) của dầm: General Postprocessor > Plot > Nodes > Plot Contrls > Numbering > Nodes > OK > Xuất hiện bảng mã các nút của dầm từ 1 đến 11 như ở hình 1.54.



Hình 1.54. *Vị trí và mã các điểm nút của dầm*

Hiển thị mã các phần tử Beam: General Postprocessor > Plot > Elements > Plot Contrls > Numbering > Element Numbers trong cửa sổ nhỏ Elem /Attrib Numbering > OK > Xuất hiện bảng mã các phần tử Beam từ 1 đến 10 cho ở hình 1.55.



Hình 1.55. *Mã các phần tử Beam*

Chuyển vị tại các nút của dầm: General Postprocessor > List Result > Nodal Solution > DOF Solution > Displacement Vector USUM > OK > Xuất hiện bảng kết quả tính toán chuyển vị tại 11 nút của dầm cho ở bảng 1.1. Từ bảng 1.1 cho thấy độ võng toàn phần lớn nhất (USUM) tại nút 7 của dầm (vị trí nút 7 xem hình 1.54) có USUM = 0.009097m.

Bảng 1.1. Chuyển vị tại các nút của dầm

PRNSOL Command

File

```
PRINT U    NODAL SOLUTION PER NODE

 ***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

 LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
  TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0

  THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL
COORDINATE SYSTEM

    NODE      UX          UY          UZ          USUM
       1    0.0000      0.0000      0.0000      0.0000
       2   0.27778E-04-0.88540E-02  0.0000     0.88540E-02
       3   0.69444E-05-0.29068E-02  0.0000     0.29069E-02
       4   0.13889E-04-0.55323E-02  0.0000     0.55323E-02
       5   0.20833E-04-0.76029E-02  0.0000     0.76030E-02
       6   0.69444E-04  0.0000      0.0000     0.69444E-04
       7   0.34722E-04-0.90969E-02  0.0000     0.90970E-02
       8   0.41667E-04-0.84219E-02  0.0000     0.84220E-02
       9   0.48611E-04-0.69953E-02  0.0000     0.69955E-02
      10   0.55556E-04-0.49922E-02  0.0000     0.49925E-02
      11   0.62500E-04-0.25963E-02  0.0000     0.25970E-02

 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES
 NODE          6           7           0           7
 VALUE   0.69444E-04-0.90969E-02  0.0000     0.90970E-02
```

Nội lực tại đầu I và đầu J của các phần tử Beams của dầm: General Postprocessor > List Results > Element Table Data > OK > Xuất hiện bảng cho kết quả tính toán nội lực của các phần tử Beam từ 1 đến 11 cho ở bảng 1.2.

Từ bảng 1.2 cho thấy mômen uốn lớn nhất tại đầu I phần tử 5 và đầu J phần tử 4 có Mmax = 46.499kNm, lực cắt lớn nhất tại đầu J phần tử 10 có Qmax = 17.749kN và nhỏ nhất tại đầu I phần tử 1 có Qmin = -24.749kN và lực dọc Nmax = Nmin = 20kN.

Bảng 1.2. Nội lực tại các nút phần tử Beam của dầm

PRETAB Command

File

PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT

***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING *****

STAT ELEM	CURRENT MI	CURRENT MJ	CURRENT QI	CURRENT QJ	CURRENT NI	CURRENT NJ
1	0.14943E-12	12.187	-24.749	-24.000	20.000	20.000
2	12.187	24.000	-24.000	-23.250	20.000	20.000
3	24.000	35.437	-23.250	-22.500	20.000	20.000
4	35.437	46.499	-22.500	-21.750	20.000	20.000
5	46.499	39.687	13.250	14.000	20.000	20.000
6	39.687	32.499	14.000	14.750	20.000	20.000
7	32.499	24.937	14.750	15.500	20.000	20.000
8	24.937	17.000	15.500	16.250	20.000	20.000
9	17.000	8.6872	16.250	17.000	20.000	20.000
10	8.6872	0.12100E-12	17.000	17.749	20.000	20.000

MINIMUM VALUES

ELEM	1	10	1	1	8	8
VALUE	0.14943E-12	0.12100E-12	-24.749	-24.000	20.000	20.000

MAXIMUM VALUES

ELEM	5	4	10	10	4	4
VALUE	46.499	46.499	17.000	17.749	20.000	20.000

Bảng 1.3. Phản lực liên kết của dầm

PRRSOL Command

File

PRINT F REACTION SOLUTIONS PER NODE

***** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

NODE	FX	FY
1	-20.000	24.749
6		17.749

TOTAL VALUES

VALUE	-20.000	42.499

Phản lực liên kết của dầm: General Postprocessor > List Results > Reaction Solution > Xuất hiện bảng cho kết quả tính toán phản lực liên kết ở hai đầu dầm do trọng lượng bản thân và do tải trọng sinh ra cho ở bảng 1.3.

Từ bảng 1.3 cho thấy phản lực liên kết tại gối tựa trái FX = -20kN, FY = 24.749kN, phản lực liên kết tại gối tựa phải FY = 17.749kN.

2. Giải theo phương thức COMMAND

Nhập lệnh qua cửa sổ nhập lệnh, vị trí cửa sổ nhập lệnh xem hình 1.16.

Mỗi thao tác trong GUI tương ứng với một câu lệnh, do đó có thể sử dụng kết hợp giữa GUI và COMMAND.

```
/TITLE,Vi du 1.1 - Dam don
/PREP7
K,1,0,0,0                !Điểm 1 có tọa độ 1(0,0,0)m
K,2,2,0,0                !Điểm 2 có tọa độ 2(2,0,0)m
K,3,5,0,0                !Điểm 3 có tọa độ 3(5,0,0)m
L,1,2                    !Vẽ đoạn thẳng 1-2
L,2,3                    !Vẽ đoạn thẳng 2-3
ET,1,BEAM3               !Chọn loại phần tử BEAM3
R,1,0.06,4.5E-4,0.30     !Gán hằng số thực
MP,EX,1,2.4E7            !Gán mô đun đàn hồi 2.4E7kN/m^2
MP,PRXY,1,0.2            !Gán hệ số Poisson 0.2
MP,DENS,1,2.548          !Gán khối lượng riêng 25/9.81=2.548kNs^2/m^4
ESIZE,0.2                !Kích thước phần tử 0.2m
LMESH,ALL                !Mạng lưới của tất các các đường như nhau
FINISH                   !Kết thúc
/SOLUTION
ANTYPE,Static            !Chọn kiểu phân tích
ACEL,0,9.81              !Gán gia tốc trọng trường 9.81m/s^2
DK,1,UX,0                !Gán chuyển vị UX=0 tại nút 1
DK,1,UY,0                !Gán chuyển vị UY=0 tại nút 1
DK,3,UY,0                !Gán chuyển vị UY=0 tại nút 3
FK,2,FY,-35              !Gán tải trọng FY=-35kN tại nút 2
FK,3,FX,20               !Gán tải trọng FX=20kN tại nút 3
/SOLU
SOLVE                    !Giải
FINISH                   !Kết thúc
/POST1
ETABLE,NI,SMISC,1        !Định nghĩa mã phần tử lực dọc tại nút I
ETABLE,NJ,SMISC,7        !Định nghĩa mã phần tử lực dọc tại nút J
ETABLE,QI,SMISC,2        !Định nghĩa mã phần tử lực cắt tại nút I
ETABLE,QJ,SMISC,8        !Định nghĩa mã phần tử lực cắt tại nút J
ETABLE,MI,SMISC,6        !Định nghĩa mã phần tử mômen uốn tại nút I
ETABLE,MJ,SMISC,12       !Định nghĩa mã phần tử mômen uốn tại nút J
PLDISPL,2                !Hiển thị biến dạng của kết cấu
PLNSOL,U,Y               !Hiển thị phổ chuyển vị UY
FINISH                   !Kết thúc giai đoạn khai thác kết quả
```

Khi thực hiện mỗi câu lệnh ở cửa sổ nhập lệnh thì phía trên cửa sổ này xuất hiện một dòng chữ chỉ dẫn thứ tự các dữ liệu cần nhập, ví dụ khi tạo điểm (Keypoint) ta gõ chữ K thì ở trên cửa sổ nhập lệnh sẽ có dòng chữ K, NPT, X, Y, Z như ở hình 1.56 để chỉ dẫn sau chữ K là mã điểm, tọa độ X, Y, Z của điểm > Nhấn Enter (↵).

Lệnh K này tương ứng với thao tác trong GUI sau đây:

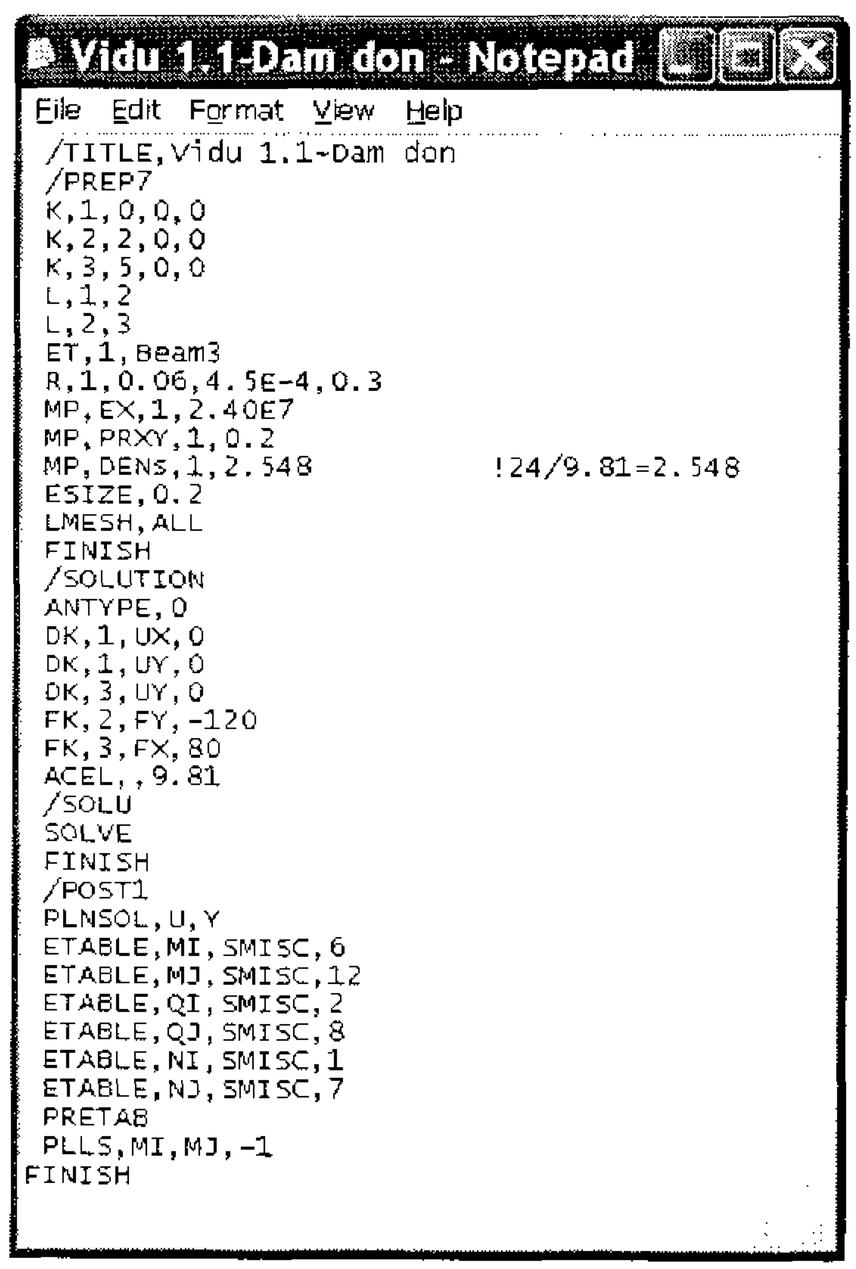
Prep > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS > Create Keypoints in Active Coordinate System.

Hình 1.56. Tạo một điểm theo phương thức Command

Các chữ viết tắt của lệnh như /TITLE, /PREP7, K, L, LSIZE, ANTYPE, DK, FK, ACEL, SOLVE, PLDIS, ETABLE, PLLS có thể xem nguyên từ và nội dung của các chữ viết tắt này ở các hình 1.19, 1.20, 1.21, 1.29, 1.32, 1.33, 1.34, 1.35, 1.36, 1.38, 1.43, 1.45 tương ứng.

3. Giải theo phương thức APDL

Các lệnh trên được soạn thảo trong một nền nào đó có dạng file.txt, ví dụ như Notepad cho ở hình 1.57 (cũng có thể Copy toàn bộ câu lệnh ở trên được soạn thảo trong Word vào Notepad có tên file là Vidu 1.1-Dam don. txt) được lưu trong ổ D\ Thư mục Z.BT-ANSYS (1) như ở hình 1.57.

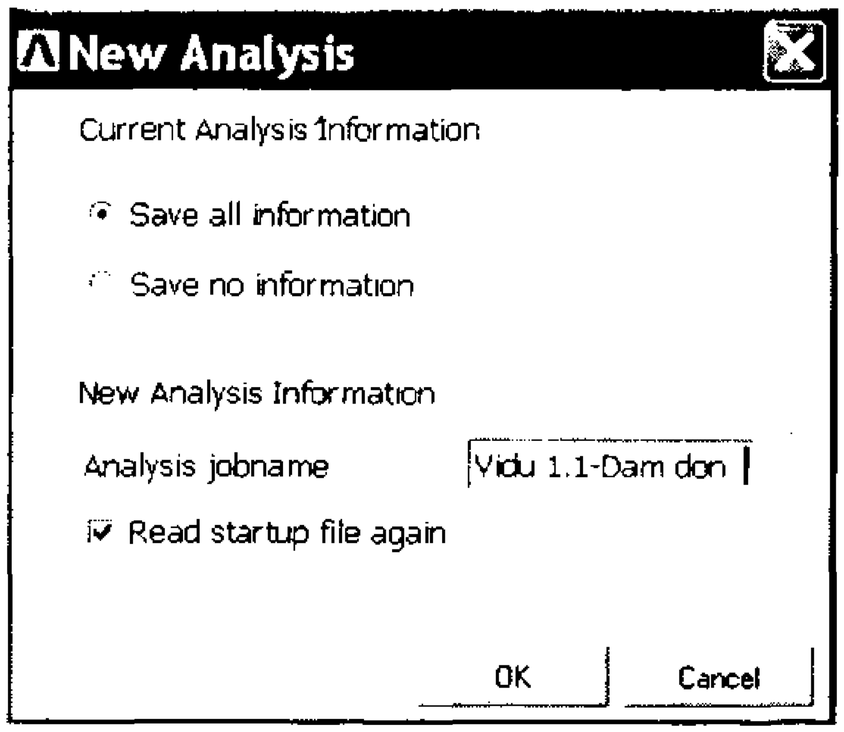


Hình 1.57. Dữ liệu Vidu 1.1-Dam don được soạn thảo trong Notepad

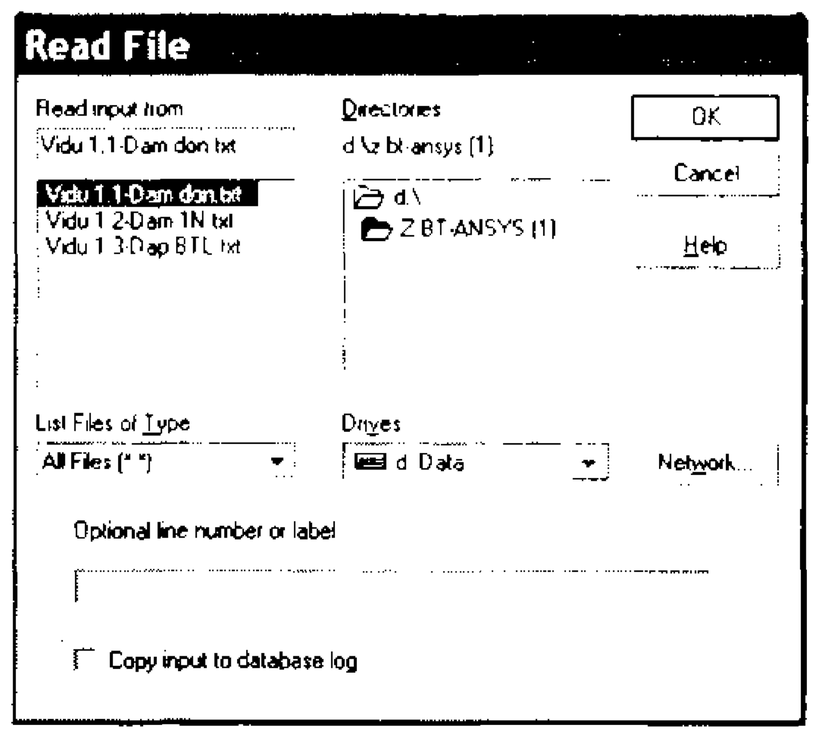
Sự khác nhau giữa phương thức COMMAND và phương thức APDL là ở chỗ phương thức COMMAND nhập từng lệnh qua cửa sổ nhập lệnh, còn phương thức APDL nhập toàn bộ các lệnh cùng một lúc qua đường dẫn File > Read Input from... để vào phần mềm ANSYS.

Trình tự các bước giải theo APDL được tiến hành như sau:

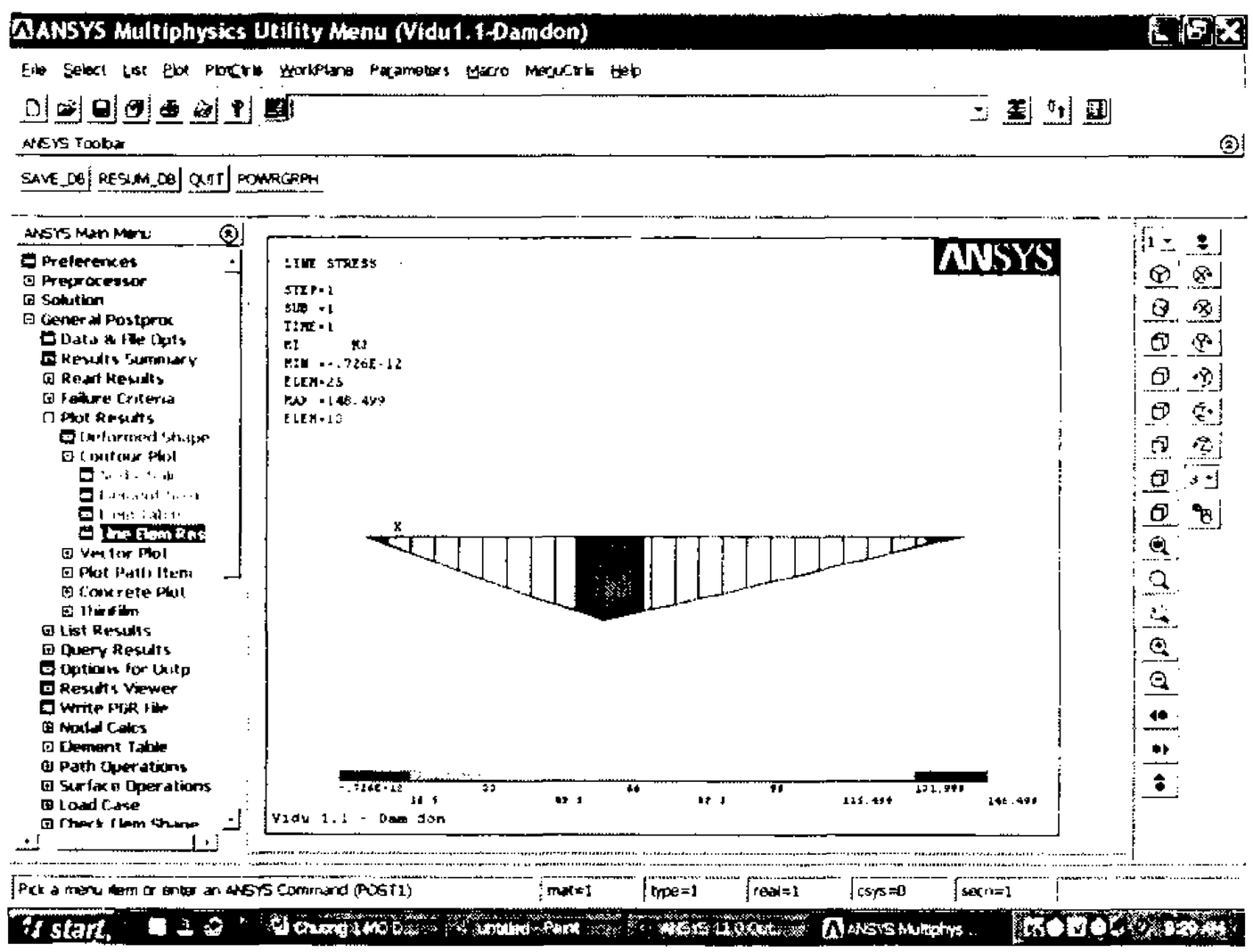
Mở phần mềm ANSYS > Nhấn chuột vào biểu tượng > Xuất hiện bảng New Analysis như ở hình 1.58 > Nhập Vidu 1.1- Dam don trong cửa sổ nhỏ ở Analysis Jobname > OK > Nhấn File > Nhấn Read Input from... > Xuất hiện bảng Read File > Nhấn chuột vào D:\ > Chọn và nhấn đúp chuột thư mục Z.BT-ANSYS (1) ở cửa sổ nhỏ bên phải > Chọn file Vidu 1.1-Dam don.txt ở cửa sổ trái như ở hình 1.59 > OK.



Hình 1.58. *Đặt tên bài toán*



Hình 1.59. *Chọn file Vidu 1.1-Dam don.txt*

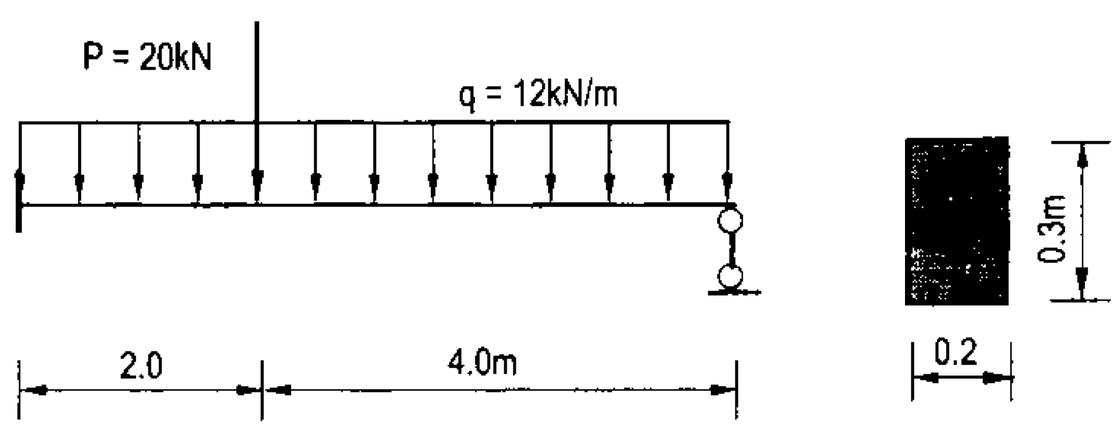


Hình 1.60. *Biểu đồ mômen uốn*

Sau khi nhấn OK dữ liệu tính toán sẽ được chuyển vào ANSYS và chương trình sẽ chạy cho đến khi có thông báo Solution is done > OK > Trên màn hình xuất hiện biểu đồ mômen uốn như ở hình 1.60, ứng với lệnh hiển thị PRETAB, PLLS, MI, MJ, -1 sau lệnh /POST1 ở hình 1.57. Khai thác các kết quả tính toán khác như sơ đồ chuyển vị, biểu đồ lực cắt, biểu đồ lực dọc, các bảng biểu về phản lực liên kết, về chuyển vị hoặc nội lực, được thực hiện tương tự như trong Vidu 1.1-Dam don theo phương thức GUI.

• Ví dụ 1.2. Dầm một nhịp một đầu ngàm một đầu khớp

Xác định nội lực và chuyển vị của dầm đơn có kích thước và chịu tải trọng như ở hình 1.61. Vật liệu bê tông M200 có mô đun đàn hồi E = 2.4 ×107kN/m^2, hệ số Poisson μ = 0.2.



Hình 1.61. Sơ đồ tính toán

1. Giải theo phương thức GUI

a) Xây dựng mô hình và giải bài toán

* Đặt tên File bài toán : Khởi động phần mềm ANSYS, nhấn chuột vào biểu tượng > Xuất hiện bảng New Analysis > Nhập Vidu 1.2-Dam 1N ở cửa sổ nhỏ Analysis Jobname > OK.

Đặt tên bài toán chi tiết hơn, từ menu File > Change Title... > Xuất hiện bảng Change Title > Nhập Vidu 1.2-Dam mot nhip vào cửa sổ nhỏ Title.

* Giới hạn phạm vi hiển thị các chức năng: Bài toán ở ví dụ 1.2 cũng thuộc lĩnh vực kết cấu (Structural). để thực hiện giới hạn hiển thị, nhấn chuột vào Main Menu Preferences > Xuất hiện bảng Preferences for GUI Filtering > Nhấn chuột vào ☑ Structural > OK.

* Xây dựng mô hình hình học của dầm: Tạo 3 điểm: Để xây dựng mô hình hình học của dầm trước hết tạo 3 điểm có tọa độ 1(0,0,0), 2(2,0,0) và 3(6,0,0) với hệ đơn vị chọn là kN, m. Từ menu Prep > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS > Xuất hiện bảng Create Keypoints in Active Coordinate System:

Nhập điểm 1 với tọa độ X=0, Y=0, Z=0 > Apply

Nhập điểm 2 với tọa độ X=2, Y=0, Z=0 > Apply

Nhập điểm 3 với tọa độ X=6, Y=0, Z=0 > OK

* Vẽ các đoạn thẳng: Từ Prep > Modeling > Create > Lines > Straight Lines > Nhấn chuột lần lượt vào nút 1-2 và 2-3, ta có 2 đoạn thẳng > OK, cũng có thể nhập 1, 2 vào Create Straight Line Apply, tiếp nhập 2, 3 > OK.

* Chọn loại phần tử (Element Type): Trong bài toán này ta chọn phần tử dầm BEAM3 có hai nút ở hai đầu phần tử, mỗi nút có 3 thành phần chuyển vị là UX, UY, ROT.

Prep > Element Type > Add/Edit/Delete > Xuất hiện bảng Element Type > Nhấn Add... > Xuất hiện bảng Library of Element Types > Chọn phần tử Beam ở cửa sổ trái và 2D elastic 3 ở cửa sổ phải ở hình này > OK → Xuất hiện lại bảng Element Types và BEAM3 đã được đưa vào danh sách > Nhấn Option > Xuất hiện bảng BEAM3 Element Type Option > Chọn Include Output trong Member Force + Moment Output K6.

* Nhập hằng số thực của phần tử BEAM3: Prep > Real Constants > Add/Edit/Delete > Xuất hiện bảng Real Constants > Nhấn Add... > Xuất hiện bảng Real Constants for BEAM3 > Nhập các số liệu:

AREA: 0.06 IZZ: 4.5E-4 HEIGHT: 0.3 > OK

* Định nghĩa thuộc tính của vật liệu: Prep > Material Props > Material Model > Xuất hiện bảng Define Material Model Behavior > Nhấn nút Structural > Linear > Elastic > Isotropic > Xuất hiện bảng Linear Isotropic Properties for Material > Nhập mô đun đàn hồi EX=2.4E+7 và hệ số Poisson PRXY=0.2. Để thoát khỏi chức năng này > Nhấn vào Material ở hàng trên cùng góc bên trái của bảng này > Nhấn Exit.

* Định nghĩa kích thước lưới: Prep > Meshing > Size Cntrls > Manual Size > Lines > All Lines > Xuất hiện bảng Element Sizes on All Selected Lines > Nhập kích thước phần tử SIZE=0.5 > OK, ta có 12 phần tử Beam như ở hình 1.62. Hiển thị mã các phần tử Beam như sau: General Postprocessor > Plot > Elements > Plot Cntrls > Numbering > Element Numbers trong cửa sổ nhỏ Elem /Attrib Numbering > OK > Xuất hiện hình 1.62 cho vị trí và mã các phần tử Beam từ 1 đến 12.

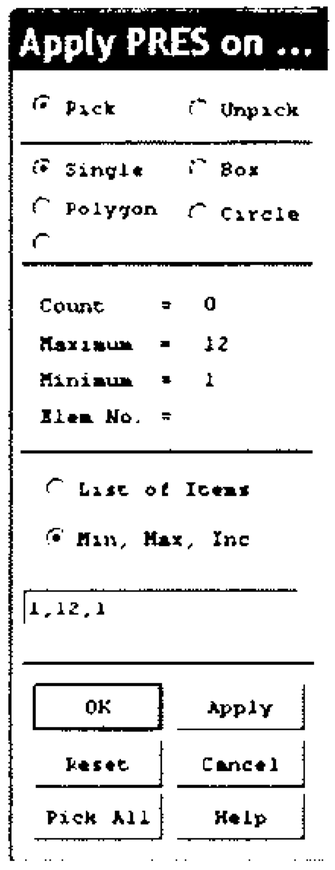
Hình 1.62. *Vị trí và mã các phần tử dầm*

* Chia lưới phần tử: Prep > Meshing > Mesh > Lines > Xuất hiện bảng Mesh Lines > Nhấn chuột vào nút Pick All ở hình này.

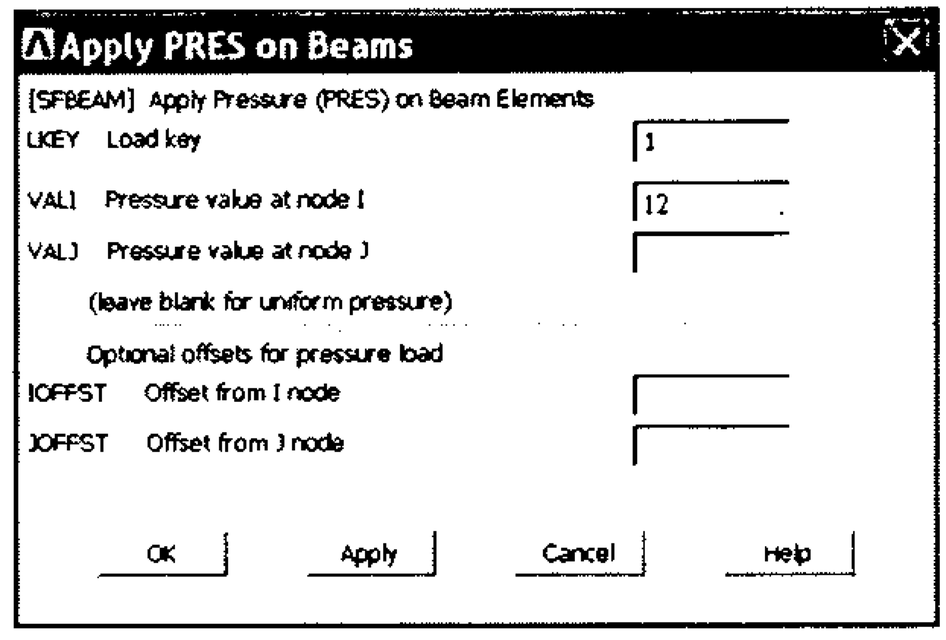
* Chọn kiểu phân tích: Solution > Analysis Type > New Analysis > Xuất hiện bảng New Analysis > Chọn ⊙ Static > OK.

* Gán liên kết: Solution > Define Loads > Apply > Displacement > On Keypoints > Chọn điểm 1 > Apply > Xuất hiện bảng Apply U, ROT on KPs > Chọn All DOF > Nhập giá trị chuyển vị VALUE = 0 > Apply. Chọn điểm 2 > OK > Chọn thành phần chuyển vị đứng UY > Nhập giá trị chuyển vị VALUE = 0 > OK.

* Gán tải trọng vào dầm: Gán tải trọng tập trung: Solution > Structural > Force/Moment > Nhấn chuột vào điểm 2 > Nhấn OK > Xuất hiện bảng Apply F/M on KPs > Chọn phương của tải trọng FY > Nhập giá trị của lực VALUE = -20 > OK. Gán tải trọng phân bố đều: Solution > Define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Beams > Xuất hiện bảng Apply PRES on Beams > Chọn trực tiếp 12 phần tử Beams bằng chuột hoặc chọn ⊙ Min, Max, Inc và nhập 1, 12, 1 vào bảng Apply PRES on Beams như ở hình 1.63 > OK > Xuất hiện bảng Apply PRES on Beams như ở hình 1.64 > Nhập giá trị áp lực tại nút I với VALI = 12, còn VALJ để trống > OK.



Hình 1.63

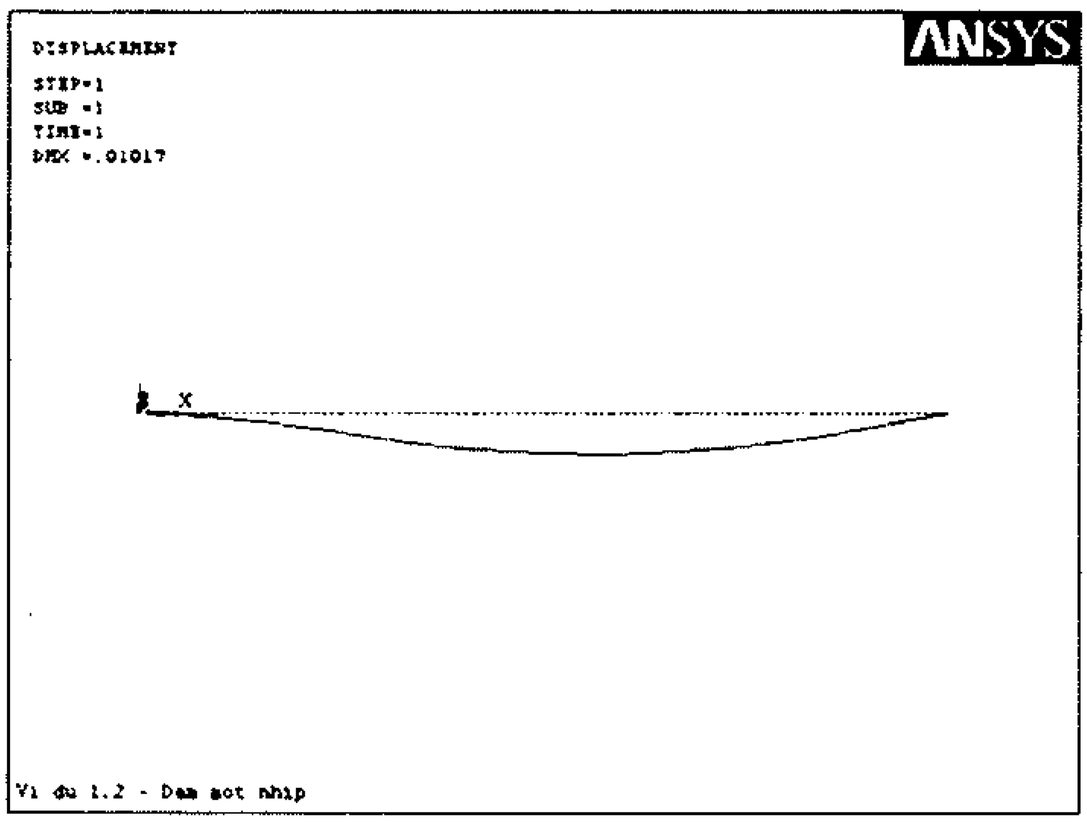


***Hình 1.64.** Gán tải trọng phân bố vào dầm*

* Chạy chương trình: Từ Menu Solution > Solve > Current LS > Xuất hiện bảng STATUS Command và bảng Solve Current Load Step, thông báo tóm tắt các thông tin trước khi tính toán. Nhấn OK để bắt đầu giải cho đến khi xuất hiện bảng Solution is done thông báo việc tính toán đã hoàn thành > Close.

b) Khai thác kết quả tính toán

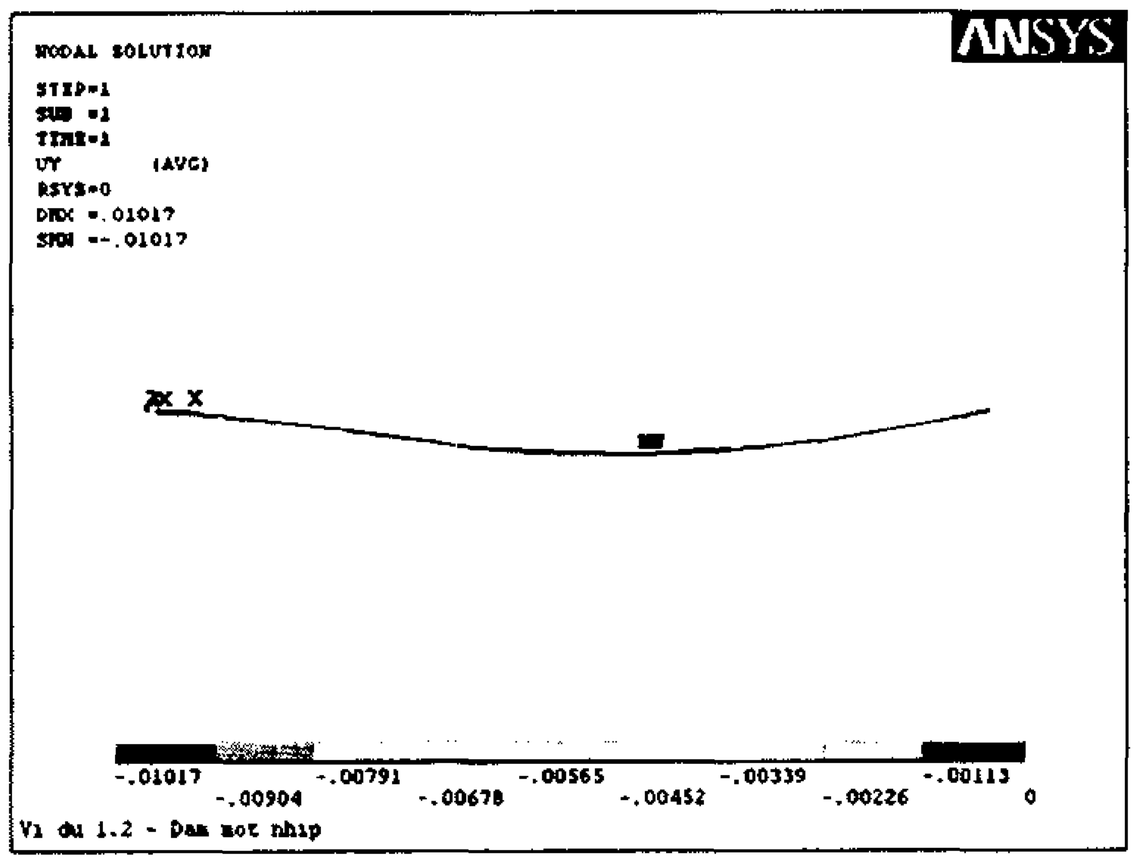
* Độ võng của dầm: Chuyển vị toàn phần: Main Menu General Postproc > Plot Results > Deformed Shape > Plot Deformed Shape > OK, có hình dạng biến dạng của dầm như ở hình 1.65, phía góc trên bên trái hình này cho biết chuyển vị lớn nhất của dầm DMX = 0.01017m.



***Hình 1.65.** Hình dạng biến dạng của dầm*

Thành phần chuyển vị đứng: General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Nodal Solution > Xuất hiện bảng Nodal Contour Solution > Nhấn chuột vào Nodal Solution > DOF Solution > Y-Component of Displacement > Xuất hiện hình dạng biến dạng của dầm theo phương Y. Phía góc trên bên trái của hình này thông báo chuyển vị toàn phần lớn nhất của

dầm DMX = 0.01017m và thành phần chuyển vị theo phương Y bằng SMN = - 0.01017m do tải trọng sinh ra.

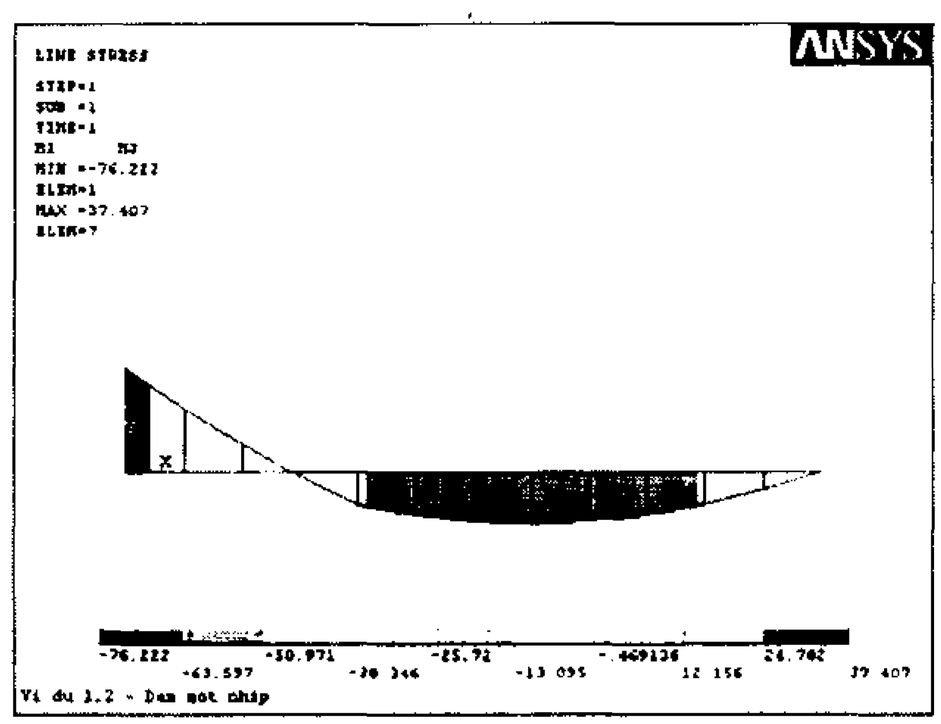


Hình 1.66. Hình dạng biến dạng của dầm

* Biểu đồ mômen uốn, lực cắt và lực dọc: Định nghĩa mã nội lực hai đầu phần tử thanh: General Postprocessor > Element Table > Define Table > Xuất hiện bảng Define Additional Element Table Items > Với đối tượng xuất là biểu đồ mômen uốn, ta nhập mã đầu I là MI với SMISC, 6 > Apply > Tiếp tục nhập mã đầu J là MJ với SMISC,12 > Apply.

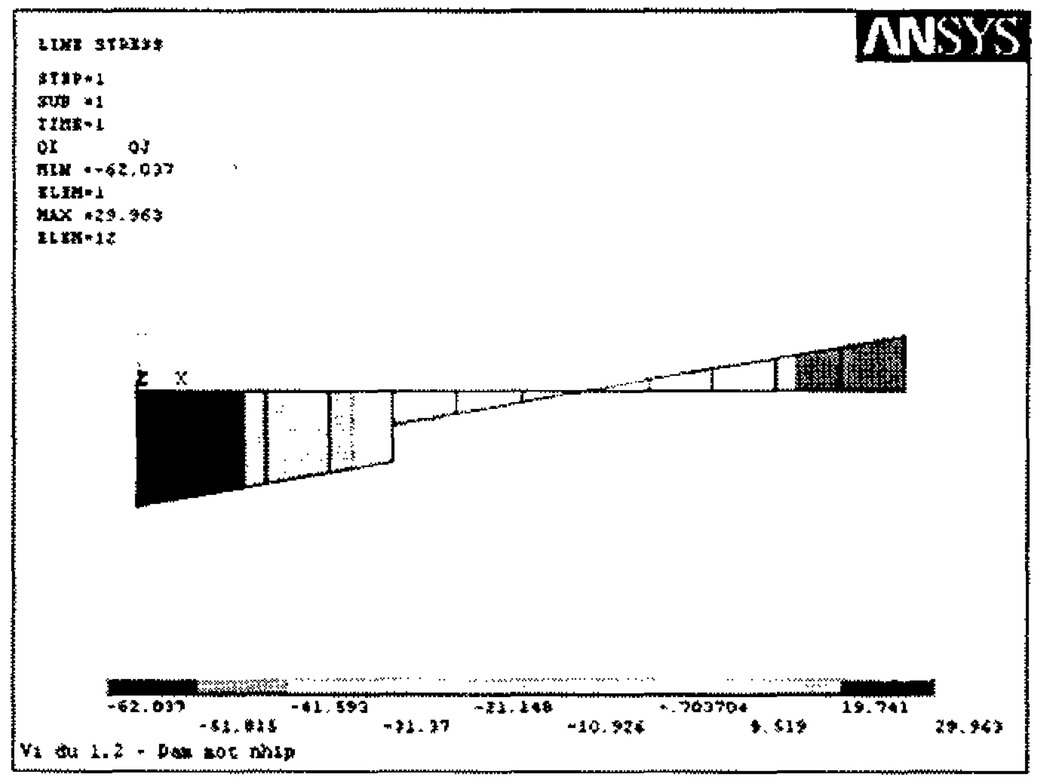
Với đối tượng xuất là biểu đồ lực cắt, ta nhập: Lab: QI với SMISC, 2 > Apply; Lab: QJ với SMISC, 8 > Apply, trong đó 2, 6, 8, 12 là mã chuyển vị đầu I và đầu J của phần tử dầm, số 2, 6 ứng với chuyển vị thẳng, số 6, 12 ứng với chuyển vị góc.

Hiển thị biểu đồ mômen uốn: General Postprocessor > Plot Result > Contour Plot > Line Element Result > Xuất hiện bảng Plot Line - Element Results > Chọn mã nội lực ở nút I là MI và nút J là MJ > Nhấn OK, ta có biểu đồ mômen uốn như ở hình 1.67. Giá trị mômen lớn nhất tại phần tử 7 bằng MAX = 37.4071kNm và mômen uốn nhỏ nhất tại phần tử 1 có MIN = -76.222 kNm.



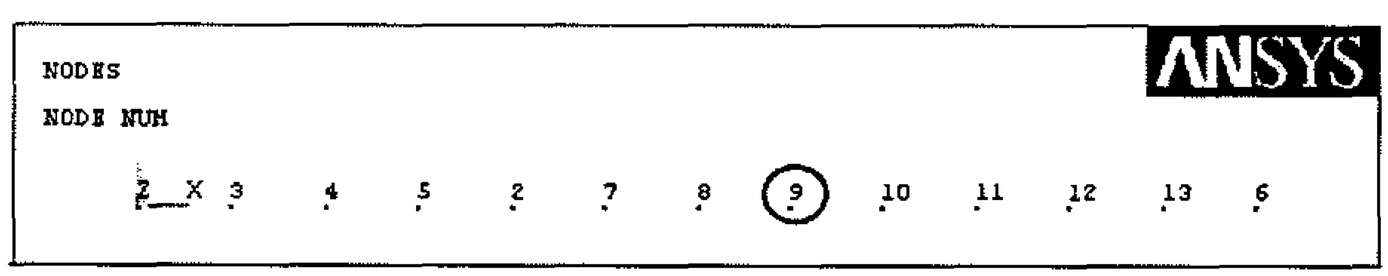
Hình 1.67. Biểu đồ mômen uốn

Hiển thị biểu đồ lực cắt: General Postprocessor > Plot Resul > Contour Plot > Line Element Result > Xuất hiện bảng Plot Line - Element Results > Chọn mã lực cắt ở nút I là QI và nút J là QJ > Nhấn OK, ta có biểu đồ lực cắt như ở hình 1.68. Giá trị lực cắt lớn nhất tại phần tử 12 bằng MAX = 29.963kNm, lực cắt nhỏ nhất tại phần tử 1 có MIN = - 62.037kN.



Hình 1.68. *Biểu đồ lực cắt*

* Xuất giá trị chuyển vị, nội lực: Hiển thị mã các nút (Nodes) của dầm: General Postprocessor > Plot > Plot Contrls > Numbering > Plot Numberibg Contrls > Chọn ☑ On trong cửa sổ nhỏ Elem /Attrib Numbering > OK > Xuất hiện hình 1.69 cho vị trí và mã 13 nút của dầm.



Hình 1.69. *Vị trí và mã của 13 điểm nút của dầm*

Chuyển vị tại các nút của dầm: General Postprocessor > List Result > Nodal Solution > DOF Solution > Displacement Vector USUM > OK > Xuất hiện bảng kết quả tính toán chuyển vị tại 13 nút của dầm cho ở bảng 1.4.

Từ bảng 1.4 cho thấy độ võng tổng cộng lớn nhất (USUM) tại nút 9 của dầm (vị trí nút 9 xem hình 1.69) có USUM = 0.010170m.

Nội lực tại đầu I và đầu J của các phần tử Beam của dầm: General Postprocessor > List Results > Element Table Data > OK > Xuất hiện bảng cho kết quả tính toán nội lực của các phần tử Beam từ 1 đến 12 như ở bảng 1.5.

Từ bảng 1.5 cho thấy mômen uốn lớn nhất tại đầu I của phần tử 8 có Mmax = 37.407kNm, mômen uốn nhỏ nhất ở đầu I của phần tử 1 có Mmin = -76.222kNm. Lực cắt lớn nhất tại đầu J của phần tử 12 có Qmax = 29.963kN, lực cắt nhỏ nhất tại đầu I của phần tử 1 có Qmin = -62.037kN. Vị trí các phần tử 1, 8 và 12 xem hình 1.62.

Bảng 1.4. Chuyển vị các nút của dầm

PRNSOL Command

File

```
PRINT U    NODAL SOLUTION PER NODE

  ***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

  LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
   TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0

  THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL
COORDINATE SYSTEM

    NODE       UX          UY          UZ          USUM
       1    0.0000      0.0000      0.0000      0.0000
       2    0.0000    -0.71971E-02  0.0000     0.71971E-02
       3    0.0000    -0.76542E-03  0.0000     0.76542E-03
       4    0.0000    -0.26177E-02  0.0000     0.26177E-02
       5    0.0000    -0.49431E-02  0.0000     0.49431E-02
       6    0.0000      0.0000      0.0000      0.0000
       7    0.0000    -0.89433E-02  0.0000     0.89433E-02
       8    0.0000    -0.99691E-02  0.0000     0.99691E-02
       9    0.0000    -0.10170E-01  0.0000     0.10170E-01
      10    0.0000    -0.95107E-02  0.0000     0.95107E-02
      11    0.0000    -0.80257E-02  0.0000     0.80257E-02
      12    0.0000    -0.58185E-02  0.0000     0.58185E-02
      13    0.0000    -0.30624E-02  0.0000     0.30624E-02

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES
NODE          0           9           0           9
VALUE    0.0000    -0.10170E-01  0.0000     0.10170E-01
```

Bảng 1.5. Nội lực tại các nút phần tử Beam của dầm

PRETAB Command

File

```
PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT

  ***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING *****

   STAT     CURRENT     CURRENT     CURRENT     CURRENT     CURRENT
   ELEM      MI          MJ          QI          QJ          UX
      1    -76.222     -46.704     -62.037     -56.037     0.0000
      2    -46.704     -20.185     -56.037     -50.037     0.0000
      3    -20.185      3.3333     -50.037     -44.037     0.0000
      4     3.3333      23.852     -44.037     -38.037     0.0000
      5     23.852      31.370     -18.037     -12.037     0.0000
      6     31.370      35.889     -12.037     -6.0370     0.0000
      7     35.889      37.407     -6.0370    -0.37037E-01 0.0000
      8     37.407      35.926    -0.37037E-01  5.9630    0.0000
      9     35.926      31.444      5.9630      11.963     0.0000
     10     31.444      23.963      11.963      17.963     0.0000
     11     23.963      13.481      17.963      23.963     0.0000
     12     13.481      0.0000      23.963      29.963     0.0000

MINIMUM VALUES
ELEM          1           1           1           1           1
VALUE    -76.222     -46.704     -62.037     -56.037     0.0000

MAXIMUM VALUES
ELEM          8           7          12          12           1
VALUE     37.407      37.407      23.963      29.963     0.0000
```

2. Giải theo phương thức COMMAND

Nhập lệnh qua cửa sổ nhập lệnh.

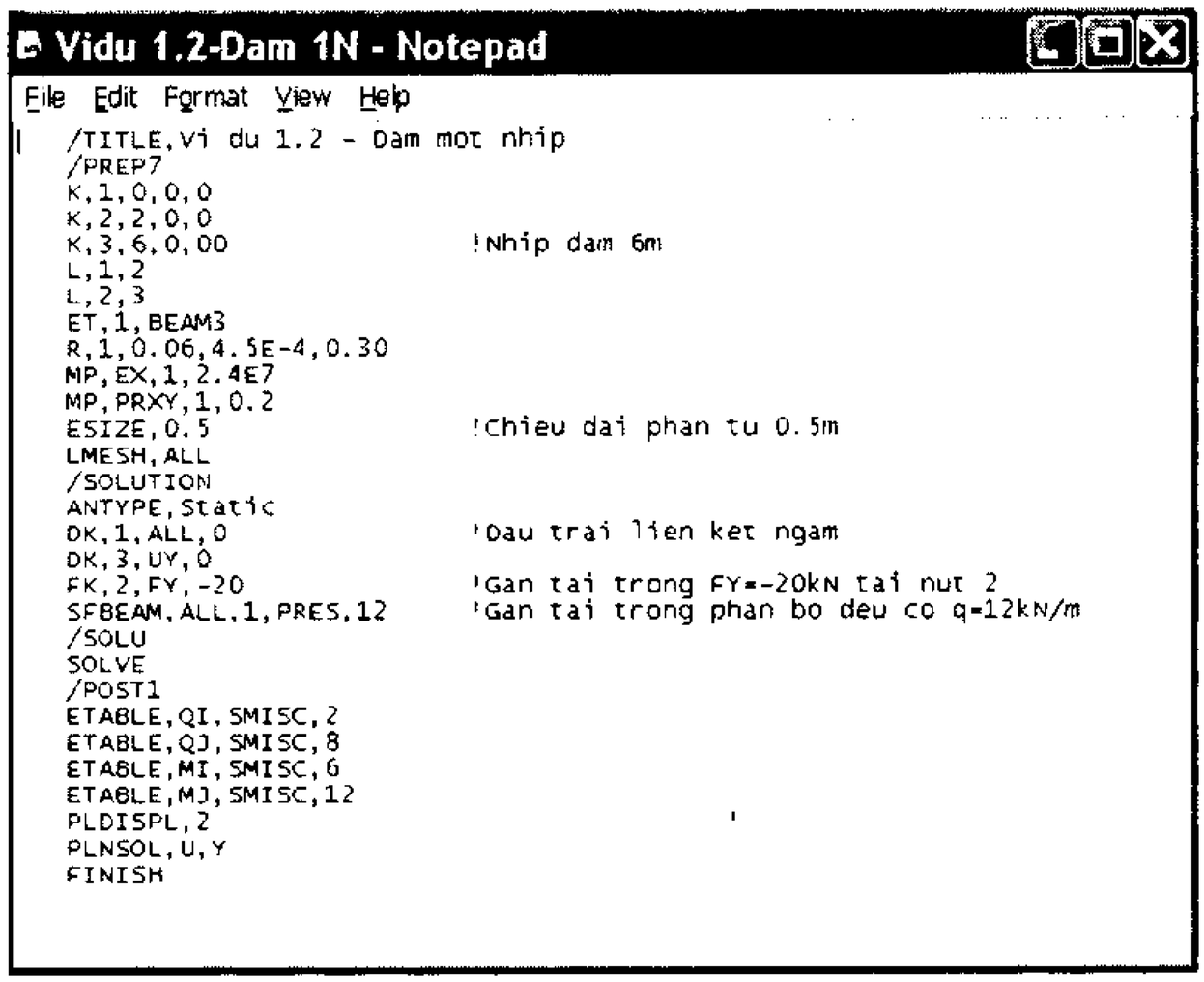
Sơ đồ tính toán dầm trong Ví dụ 1.2 khác Ví dụ 1.1 về chiều dài nhịp dầm, đầu trái dầm liên kết ngàm, chịu thêm tải trọng phân bố đều, không có lực dọc trục thanh và bỏ qua trọng

lượng bản thân dầm. Các lệnh đã sửa và bổ sung cho phù hợp với dầm cho trong ví dụ 1.2 được chú thích trên cùng dòng lệnh.

```
/TITLE,Vi du 1.2-Dam mot nhip
/PREP7
K,1,0,0,0
K,2,2,0,0
K,3,6,0,0                    !Nhịp dầm 6m
L,1,2
L,2,3
ET,1,BEAM3
R,1,0.06,4.5E-4,0.30
MP,EX,1,2.4E7
MP,PRXY,1,0.2
ESIZE,0.5                    !Kích thước phần tử 0.5m
LMESH,ALL
/SOLUTION
ANTYPE,Static
DK,1,ALL,0                   !Đầu trái dầm liên kết ngàm
DK,3,UY,0
FK,2,FY,-20                  !Gán tải trọng FY=-20kN tại nút 2
SFBEAM,ALL,1,PRES,12         !Gán tải trọng phân bố đều trên dầm có q=12kN/m
/SOLU
SOLVE
/POST1
ETABLE,QI,SMISC,2
ETABLE,QJ,SMISC,8
ETABLE,MI,SMISC,6
ETABLE,MJ,SMISC,12
PLDISPL,2
PLNSOL,U,Y
FINISH
```

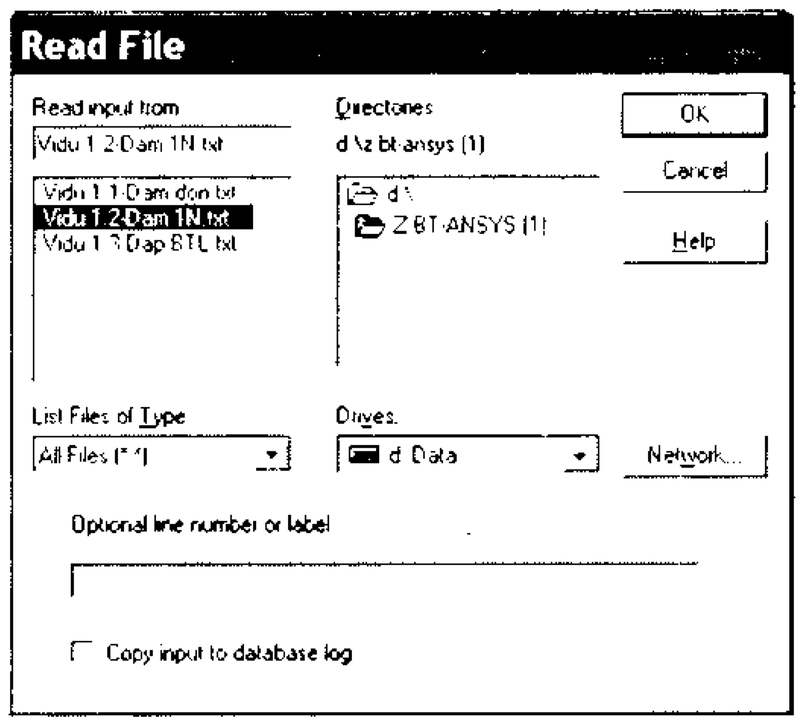
3. Giải theo phương thức APDL

Tạo file dữ liệu cho phương thức APDL: Copy toàn bộ câu lệnh ở trên được soạn thảo trong Word vào phần mềm Notepad có tên file là Vidu 1.2-Dam 1N.txt được lưu trong ổ D:\ Thư mục Z.BT - ANSYS (1) hoặc START > Notepad > File > Open > Chọn file Vidu 1.1-Dam don > Open > Save as > Vidu 1.2-Dam 1N > OK. Ta có file Vidu 1.2-Dam 1N - Notepad và sửa các dữ liệu đầu vào cho phù hợp với bài toán mới như ở hình 1.70 > File > Save.



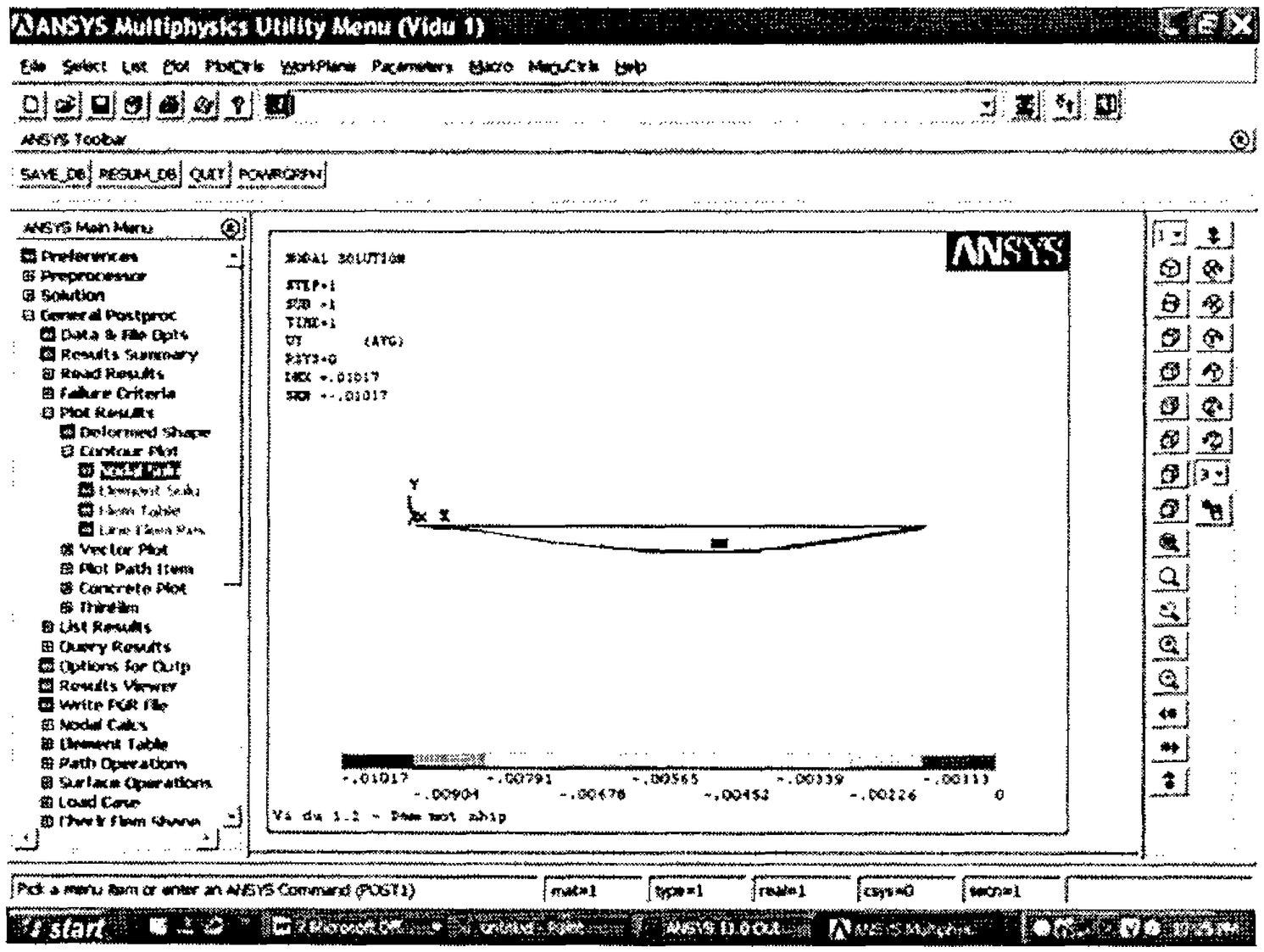
Hình 1.70. *Dữ liệu Vidu 1.2-Dam một nhịp được soạn thảo trong Notepad*

Chạy chương trình: Khởi động phần mềm ANSYS bằng cách nhấn chuột vào biểu tượng > Xuất hiện bảng New Analysis > Nhập Vidu 1.2-Dam 1N ở cửa sổ nhỏ Analysis Jobname > OK. Tiếp đến nhấn File > Read Input from... > Xuất hiện bảng Read File > Nhấn chuột vào D:\ > Chọn và nhấn đúp chuột thư mục Z.BT-ANSYS (1) ở cửa sổ nhỏ bên phải > Chọn file Vidu 1.2-Dam 1N.txt ở cửa sổ trái như ở hình 1.2 > Nhấn OK > File dữ liệu của ví dụ 1.2 đã được đưa vào phần mềm ANSYS.

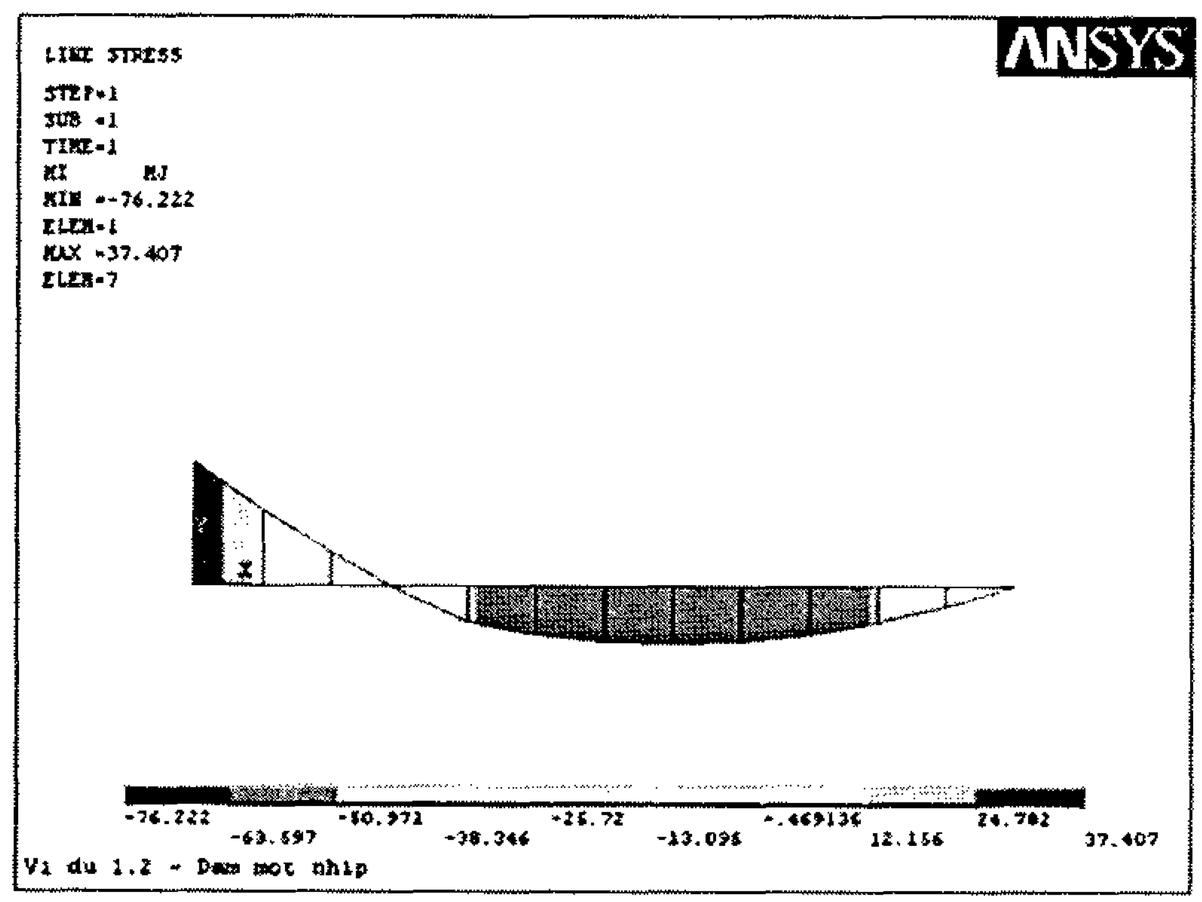


Hình 1.71. *Chọn file Vidu 1.2 - Dam 1N.txt*

Sau khi nhấn OK dữ liệu tính toán sẽ được chuyển vào ANSYS và chương trình sẽ chạy cho đến khi có thông báo Solution is done > OK > Trên màn hình xuất hiện sơ đồ chuyển vị như ở hình 1.72, ứng với lệnh hiển thị PLNSOL,U,Y sau lệnh /POST1 ở hình 1.70. Khai thác các kết quả tính toán khác như biểu đồ mômen, biểu đồ lực cắt, biểu đồ lực dọc, được thực hiện tương tự như trong Vidu 1.1-Dam don theo phương thức GUI.



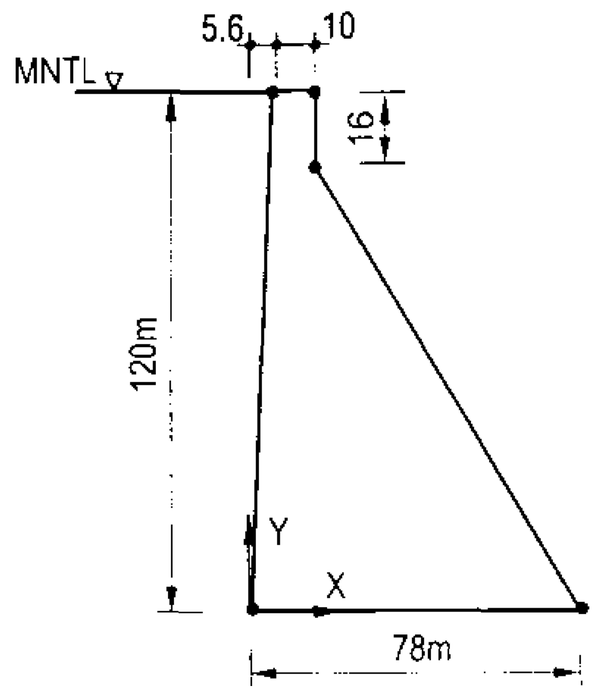
Hình 1.72. Biểu đồ chuyển vị



Hình 1.73. Biểu đồ mômen uốn

• Ví dụ 1.3. Đập trọng lực

Xác định ứng suất và chuyển vị của đập trọng lực được tính theo bài toán biến dạng phẳng. Đập có kích thước mặt cắt ngang và chịu áp lực nước (ALN) tới đỉnh đập như ở hình 1.74. Vật liệu bê tông M150 có $E_b = 2.1\times10^7 kN/m^2$, $\mu_b = 0.2$, $\gamma_b = 24kN/m^3$, trọng lượng riêng của nước $\gamma_n = 10kN/m^3$.

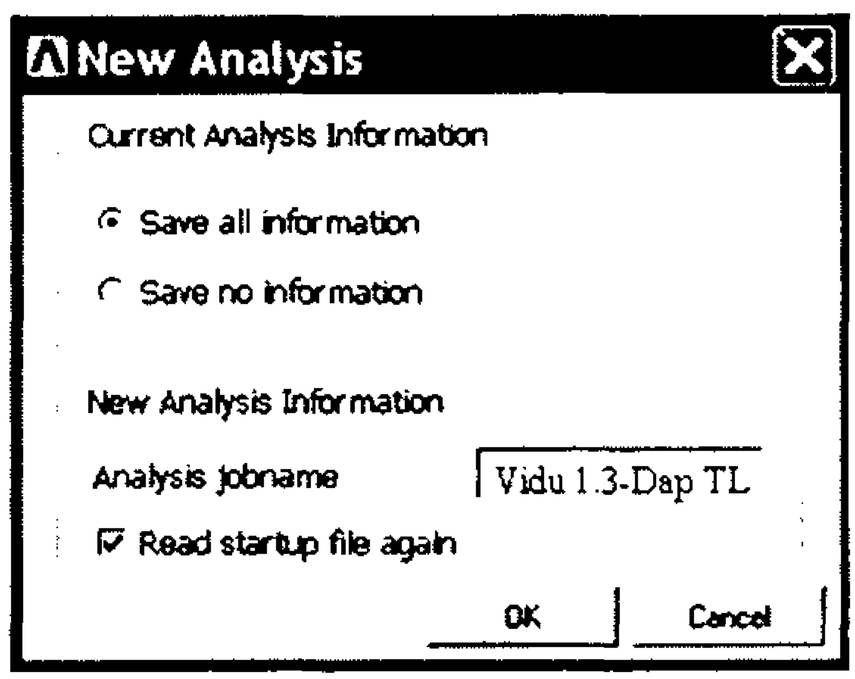


Hình 1.74. Mặt cắt ngang đập trọng lực

1. Thực hiện theo phương thức GUI

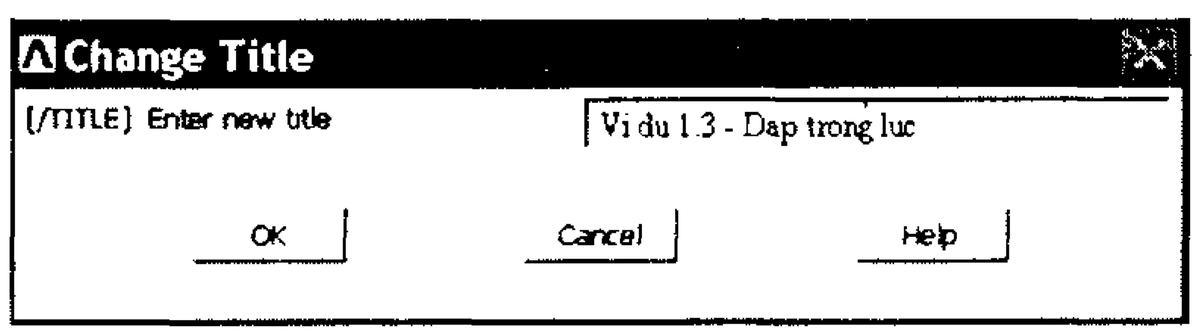
a) Xây dựng mô hình và giải bài toán

* Đặt tên File bài toán: Sau khi khởi động phần mềm ANSYS, nhấn chuột vào biểu tượng > Xuất hiện bảng New Analysis như ở hình 1.75 > Nhập Vidu 1.3-Dap TL trong cửa sổ nhỏ ở Analysis Jobname > OK.



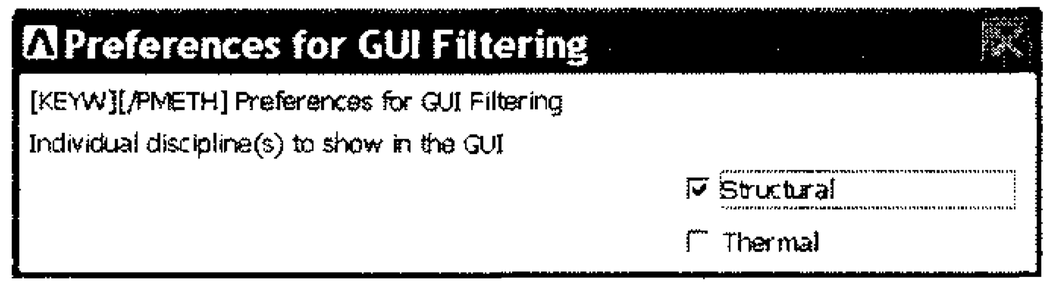
Hình 1.75. Phân tích bài toán mới

Đặt tên bài toán chi tiết hơn để hiển thị trên màn hình, từ menu File > Change Title... > Xuất hiện bảng Change Title như ở hình 1.76 > Nhập Vidu 1.3-Dap trong luc vào cửa sổ nhỏ Title.



Hình 1.76. Đặt tên bài toán

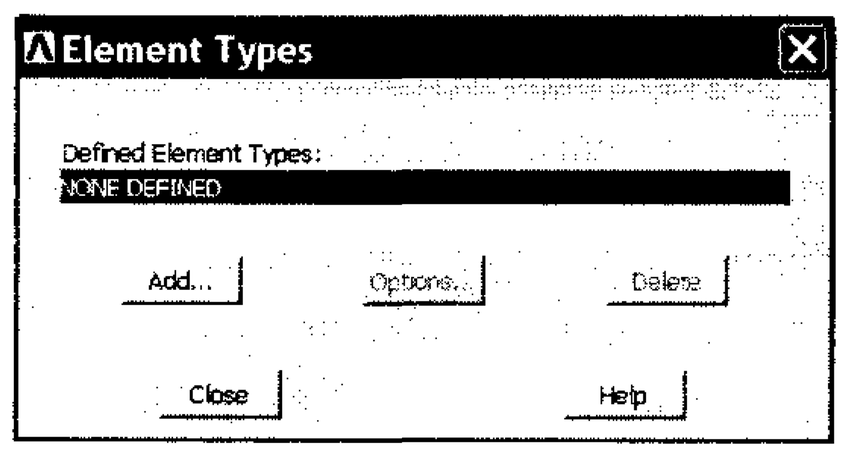
* Giới hạn phạm vi hiển thị các chức năng: Bài toán ở ví dụ 1.3 thuộc lĩnh vực kết cấu (Structural), để thực hiện giới hạn hiển thị này, nhấn chuột vào menu Preferences > Xuất hiện bảng Preferences for GUI Filtering như ở hình 1.77 > Nhấn chuột vào ☑ Structural > OK.



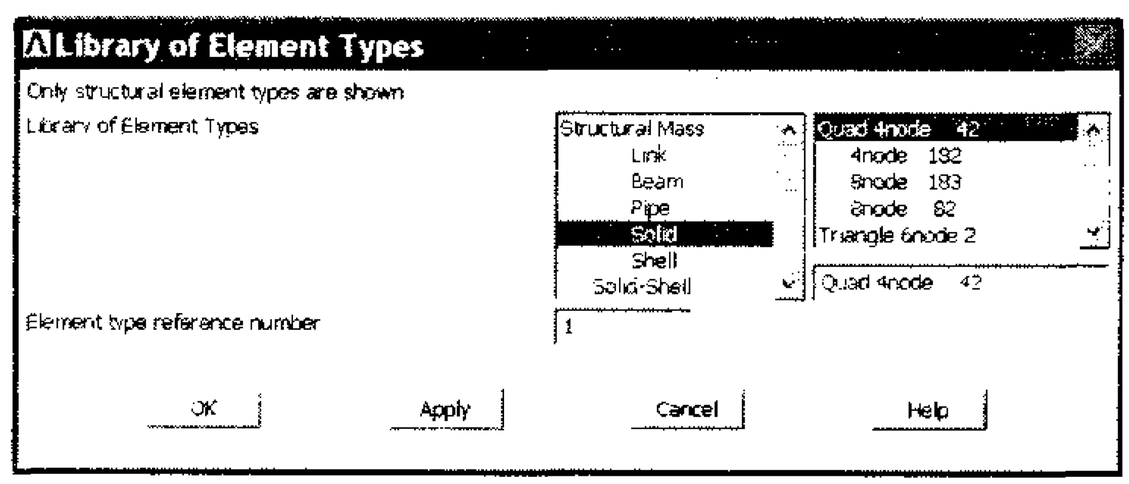
Hình 1.77. Giới hạn phạm vi hiển thị

* Chọn loại phần tử (Element Type): Trong bài toán này ta chọn phần tử phẳng PLANE42 có 4 điểm nút, mỗi nút có 2 thành phần chuyển vị là UX và UY.

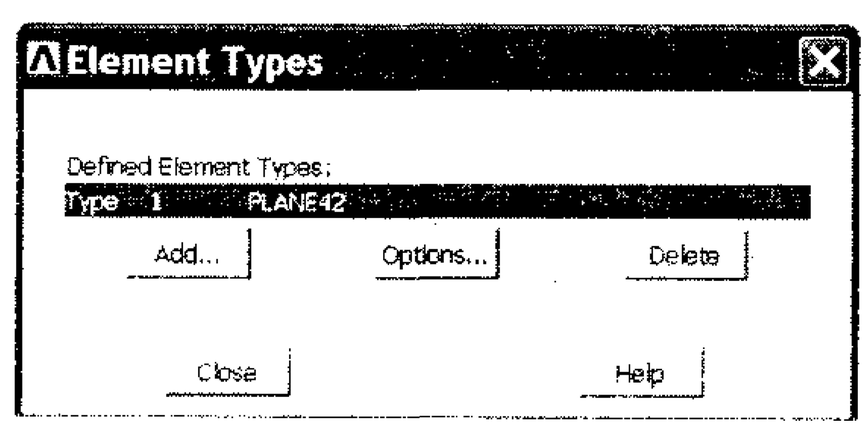
Từ menu Prep > Element Type > Add/Edit/Delete > Xuất hiện Element Type như ở hình 1.78 > Nhấn Add... > Xuất hiện bảng Library of Element Types như ở hình 1.79 > Chọn Solid ở cửa sổ trái và Quad 4nodes 42 ở cửa sổ phải như ở hình 1.79 > OK → Xuất hiện lại bảng Element Type và PLANE42 đã được đưa vào danh sách như ở hình 1.80 > Nhấn Options > Xuất hiện bảng PLANE42 element type options như ở hình 1.81 > Chọn Plane strain trong Element Behavior K3 > OK > Hoàn thành định nghĩa phần tử PLANE42.



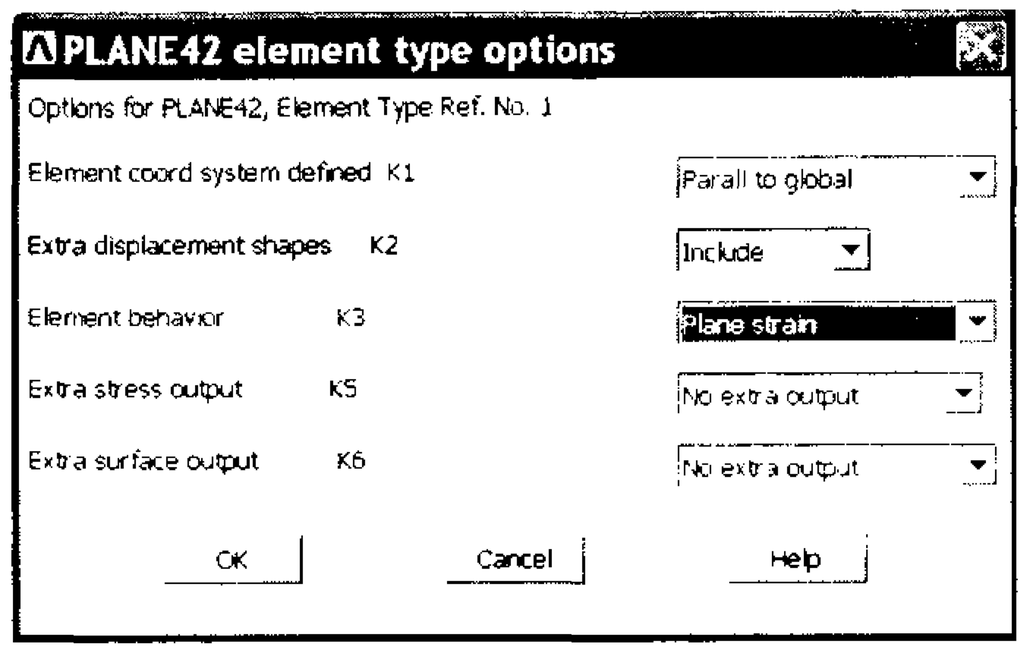
Hình 1.78. Định nghĩa loại phần tử



Hình 1.79. Chọn phần tử PLANE42

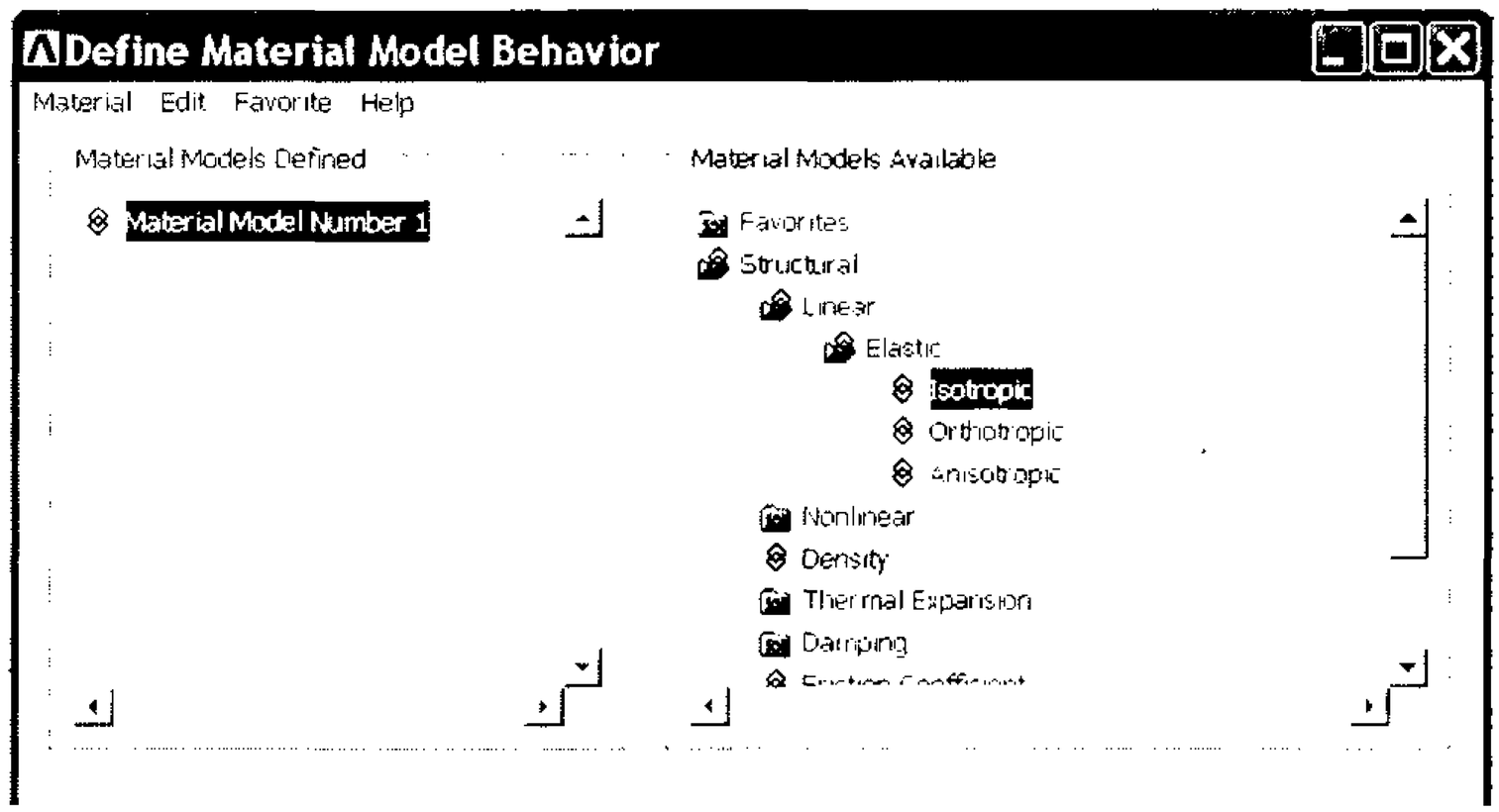


Hình 1.80. Loại phần tử Plane đã được ghi vào danh sách

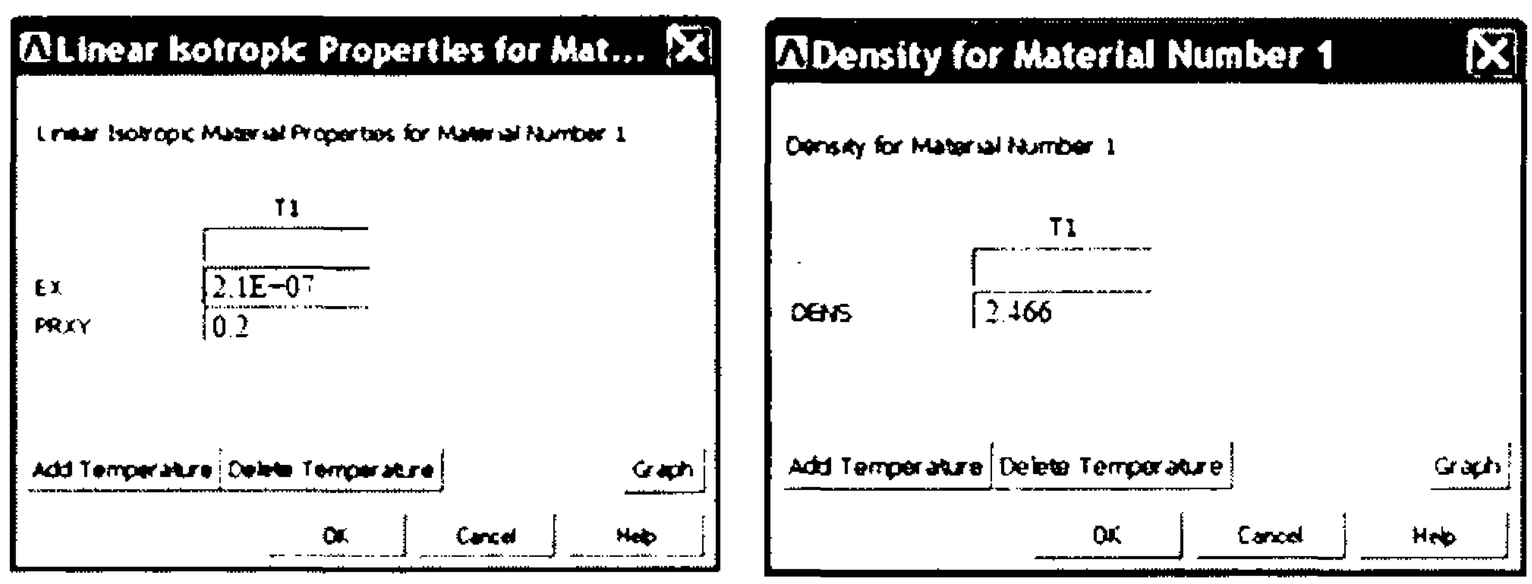


Hình 1.81. *Chọn Options cho phần tử PLANE42*

* Định nghĩa thuộc tính của vật liệu: Prep > Material Props > Material Model > Xuất hiện bảng Define Material Model Behavior > Nhấn nút Structural > Linear > Elastic > Isotropic như ở hình 1.82 > Xuất hiện bảng Linear Isotropic Properties for Material Number 1 như ở hình 1.83 > Nhập mô đun đàn hồi EX=2.1E+7 và hệ số Poisson PRXY=0.2 > Nhấn Density > Xuất hiện bảng Density for Material Number 1 > Nhập DENS=2.446 (24/9.81) > OK > Để thoát khỏi chức năng này > Nhấn vào Material ở hàng trên cùng ở hình 1.82 > Nhấn Exit.



Hình 1.82. *Định nghĩa vật liệu*



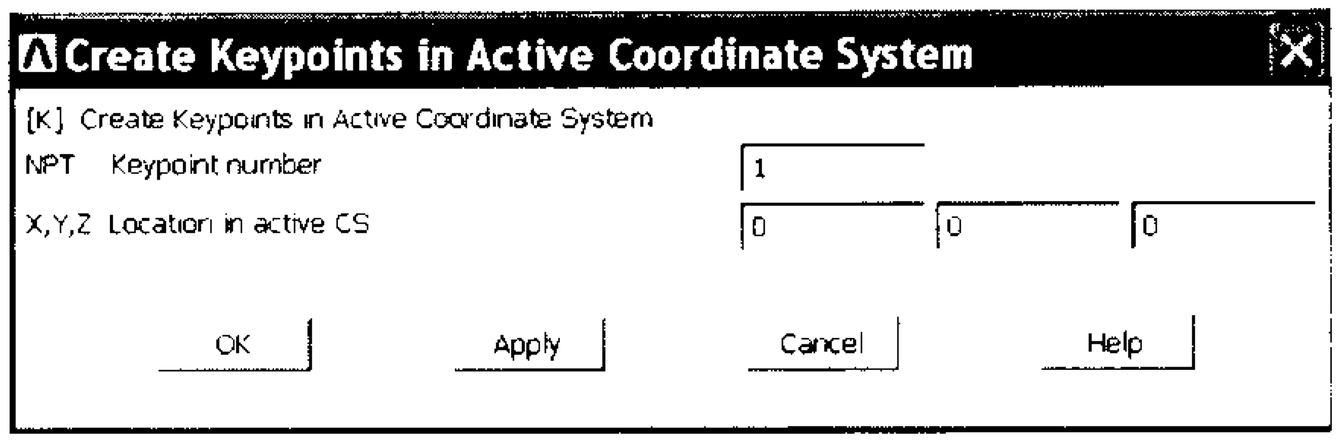
Hình 1.83. *Nhập thuộc tính của vật liệu*

* Xây dựng mô hình hình học của đập: Chọn hệ đơn vị: kN, m. Để xây dựng mô hình hình học của dầm ta tạo 5 điểm (Keypoints) có tọa độ như sau:

1(0,0,0), 2(78,0,0), 3(15.6,104,0), 4(15.6,120,0), 5(5.6,120,0).

Từ menu Prep > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS > Xuất hiện bảng Create Keypoints in Active Coordinate System như ở hình 1.84.

Nhập điểm 1 với tọa độ X=0, Y=0, Z=0 > Apply



Hình 1.84. Tạo điểm 1

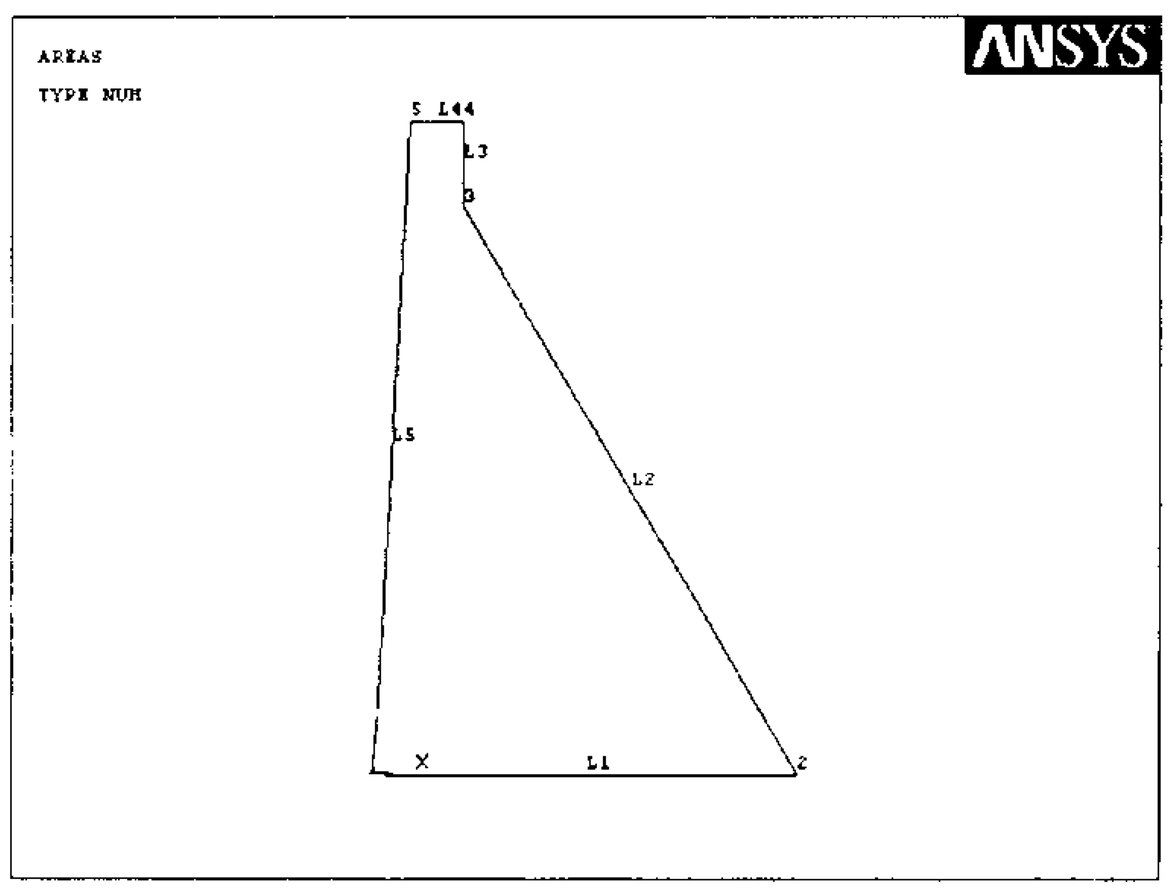
Nhập điểm 2 với tọa độ X=76, Y=0, Z=0 > Apply

Nhập điểm 3 với tọa độ X=15.6, Y=104, Z=0 > Apply

Nhập điểm 4 với tọa độ X=15.6, Y=120, Z=0 > Apply

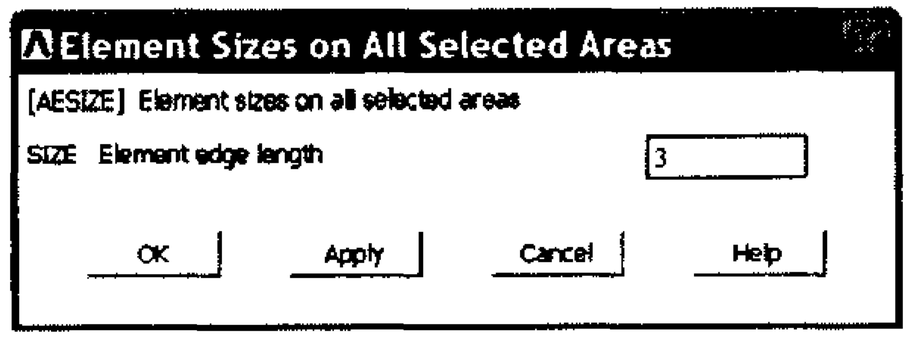
Nhập điểm 5 với tọa độ X=5.6, Y=120, Z=0 > OK

Xây dựng mô hình mặt đập: Từ Prep > Modeling > Create > Areas > Arbitrary > Through Keypoints > Nhấn chuột lần lượt vào nút 1, 2, 3, 4, 5 > OK, ta có mô hình mặt đập như ở hình 1.85.



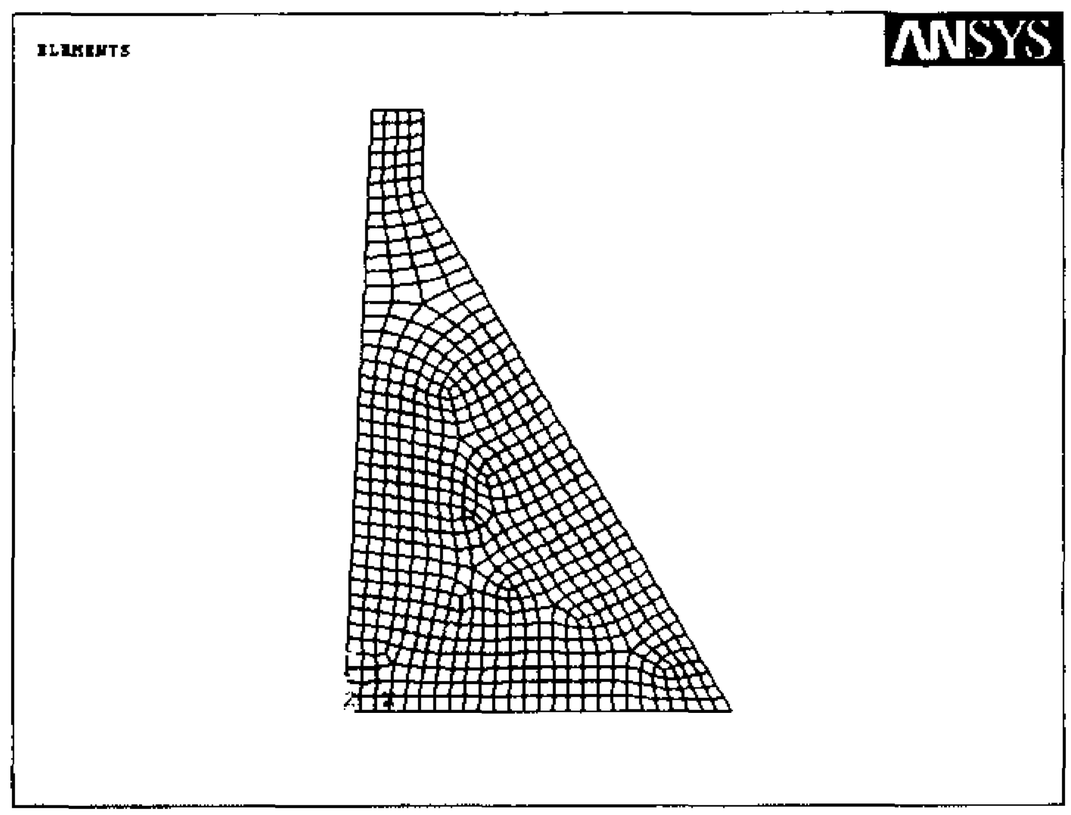
Hình 1.85. Mô hình mặt đập

* Chia mạng lưới phần tử: Chọn kích thước phần tử (Areas). Chia mạng lưới phần tử của mặt đập theo kích thước của phần tử, do đó trước hết cần chọn chiều dài cạnh phần tử. Từ Prep > Meshing > Size Contrls > ManualSize > Areas > All Areas > Xuất hiện bảng Element Sizes on All Selected Areas như ở hình 1.86 > Chọn SIZE = 3 > OK.



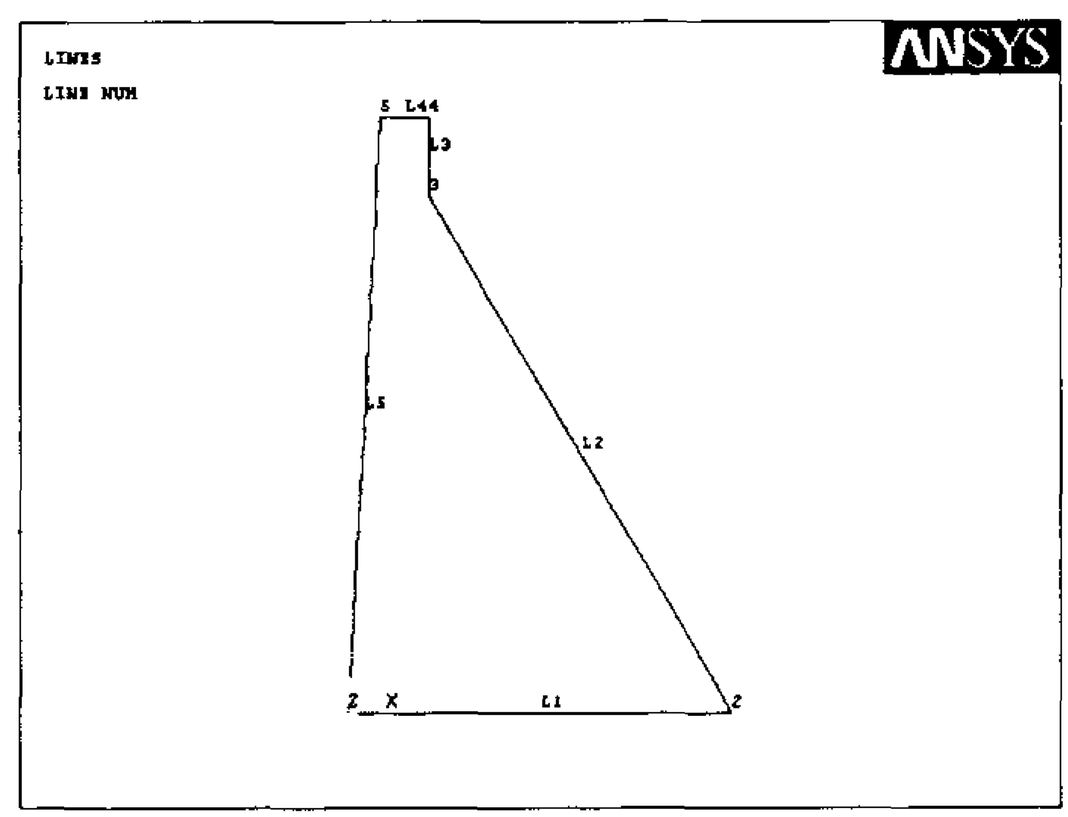
Hình 1.86. *Chọn chiều dài cạnh phần tử*

Chia lưới phần tử đập từ Prep > Meshing > Mesh > Area > Xuất hiện cửa sổ chọn mặt, dùng chuột chọn mặt đập trên màn hình > OK, có mô hình phần tử hữu hạn đập như hình 1.87.



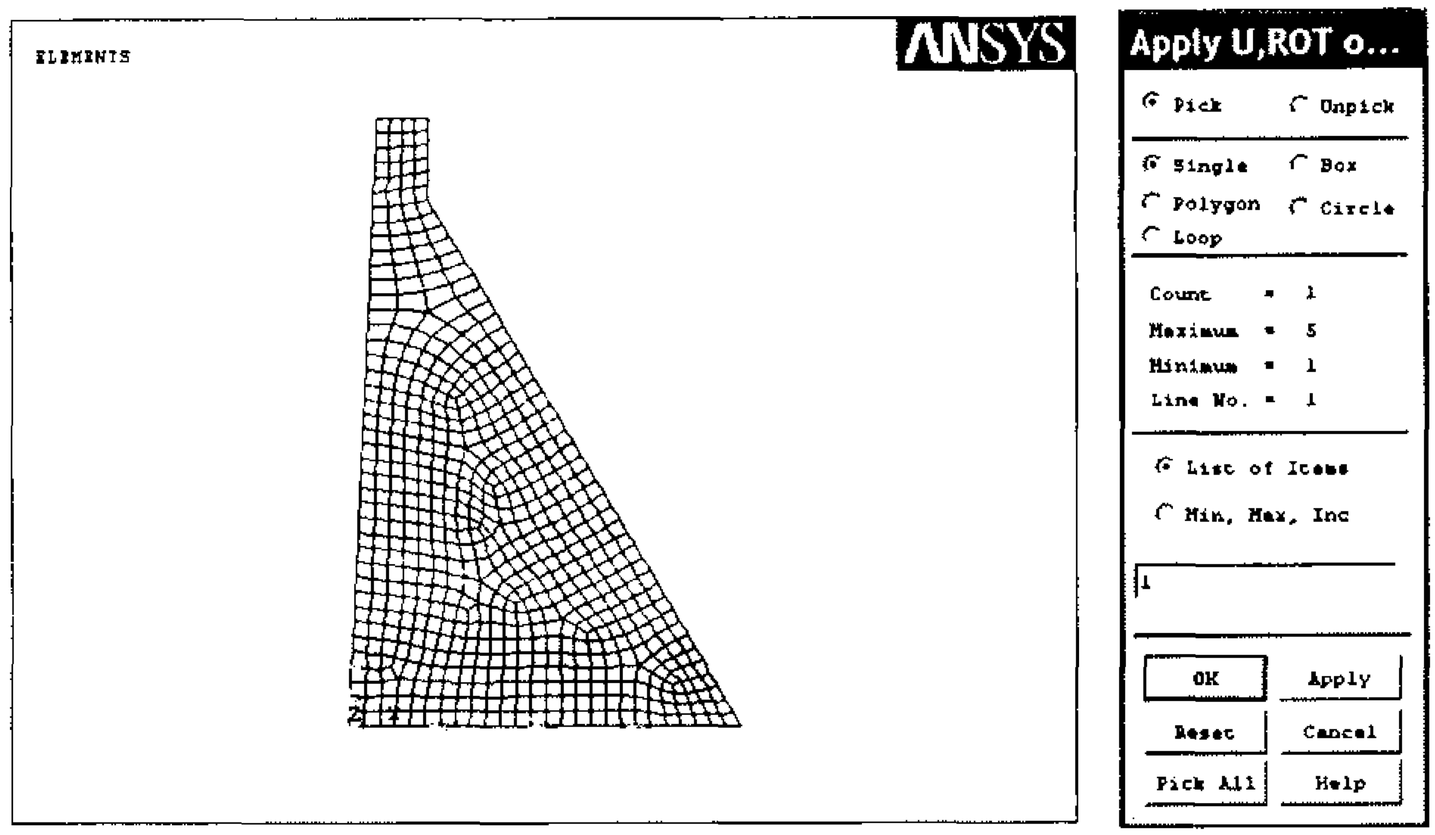
Hình 1.87. *Mạng lưới phần tử mô hình đập*

* Gán ràng buộc và tải trọng: Hiển thị đường và mã đường chu vi đập: Plot > Lines > Plot Cntrls > Xuất hiện bảng Plot Numbering Cntrls > Chọn KP ☑ On, LINE ☑ On, ta có điểm, đường chu vi đập và mã của chúng như ở hình 1.88.

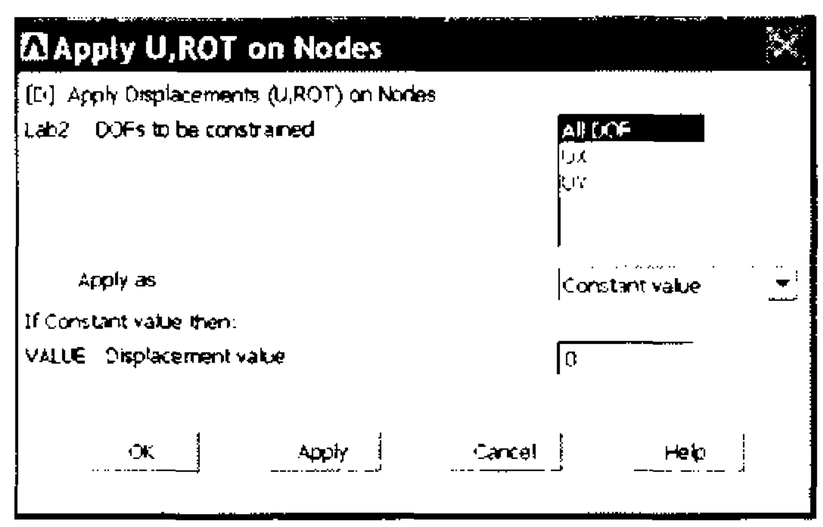


Hình 1.88. *Đường và mã đường chu vi đập*

Gán ràng buộc chuyển vị ở đáy đập từ Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Lines > Xuất hiện bảng Apply U, ROT on Nodes > Chọn L1 ở đáy đập > OK > Xuất hiện bảng Apply U, ROT on Nodes > Chọn Constant Value, trong Displacement Value nhập giá trị 0 như ở hình 1.75 > OK, ta có sơ đồ liên kết như ở hình 1.89.

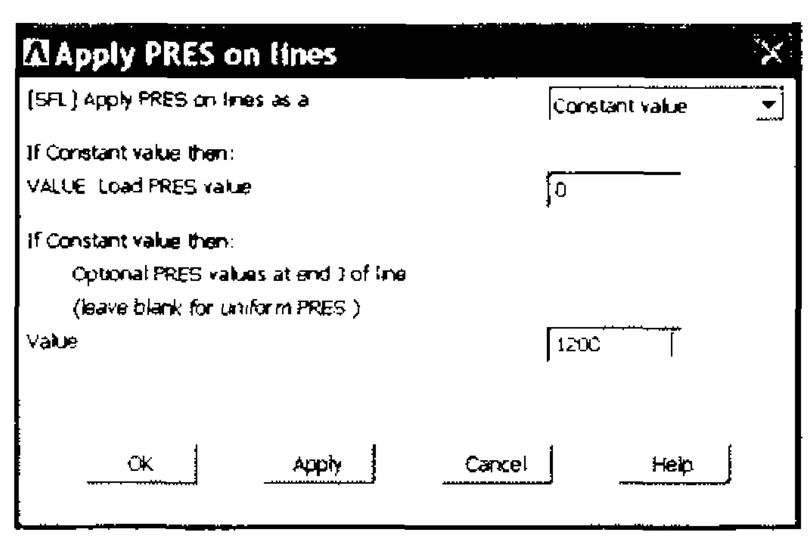


Hình 1.89. *Chọn đường L1 đáy đập và gán liên kết*



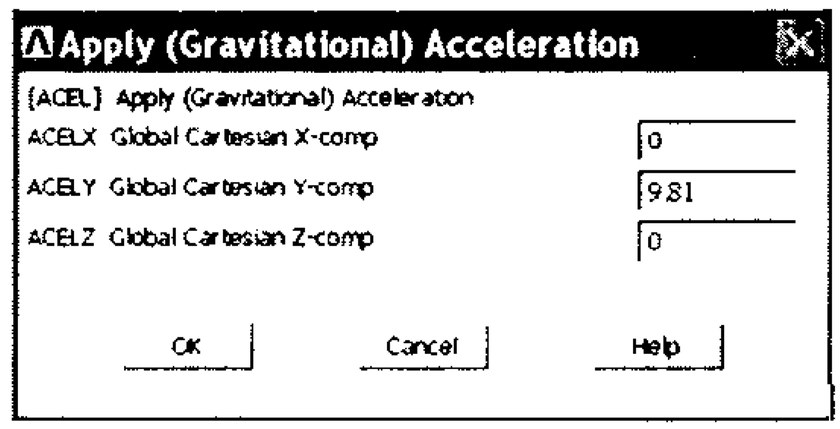
Hình 1.90. *Gán ràng buộc ở đáy đập*

Gán áp lực nước từ Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Lines > Global > Xuất hiện bảng Apply PRES on Lines > Xuất hiện bảng chọn Lines > Dùng chuột chọn đường L5 > OK > Xuất hiện bảng Apply PRES on Lines như ở hình 1.91 > Nhập áp lực nước tại nút I giá trị VALUE=0 và tại nút J giá trị VALUE=1200 trong cửa sổ khai báo > OK.



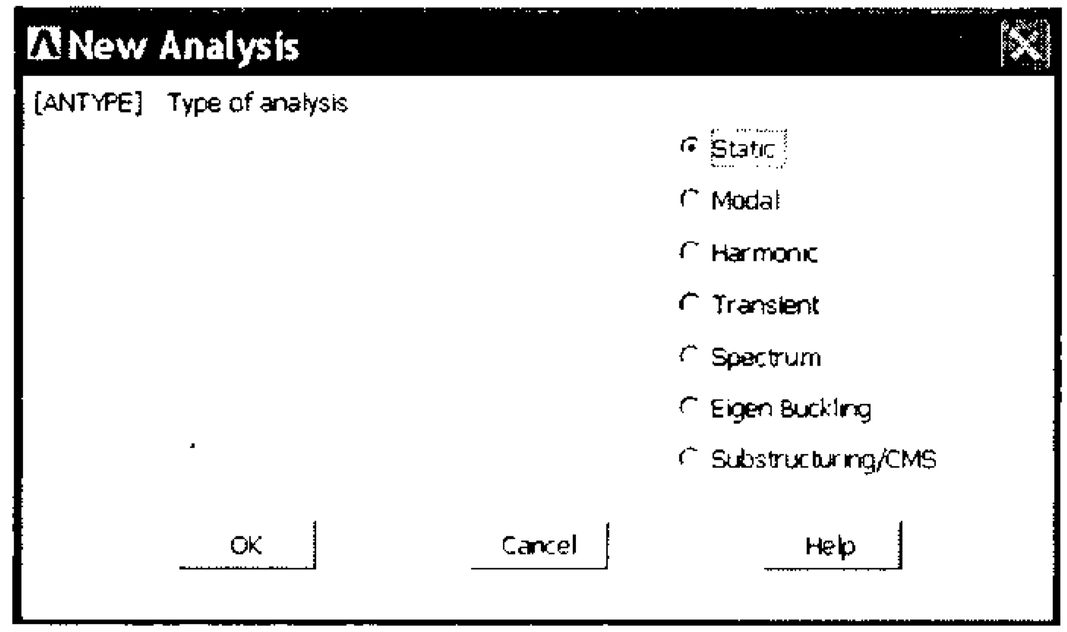
Hình 1.91. *Gán áp lực nước ở mặt thượng lưu đập*

Gán gia tốc trọng trường từ Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Inertia > Gravity > Global > Xuất hiện bảng Apply (Gravitational) Acceleration như ở hình 1.92, trong ACELY Global Cartesian-comp nhập 9.81 > OK.



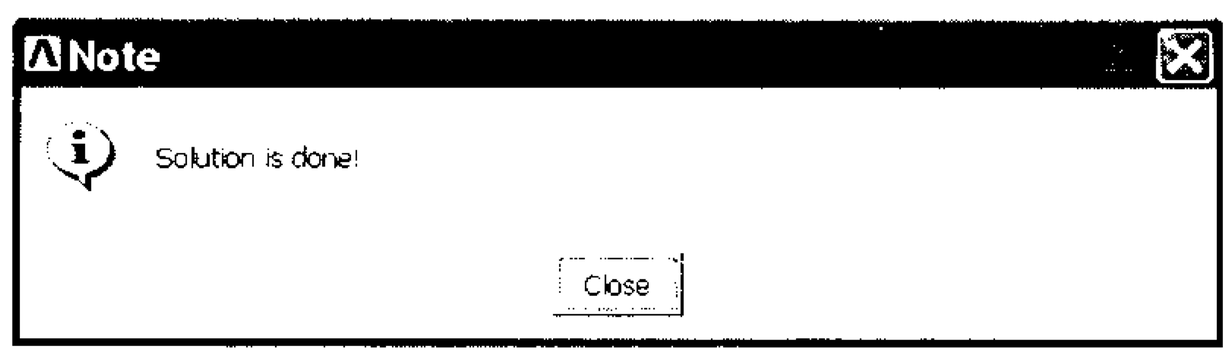
***Hình 1.92**. Gán gia tốc trọng trường*

* Chọn kiểu phân tích: Solution > Analysis Type > New Analysis > Xuất hiện bảng New Analysis như ở hình 1.93 > Chọn ⊙ Static > OK.



***Hình 1.93**. Định nghĩa kiểu phân tích*

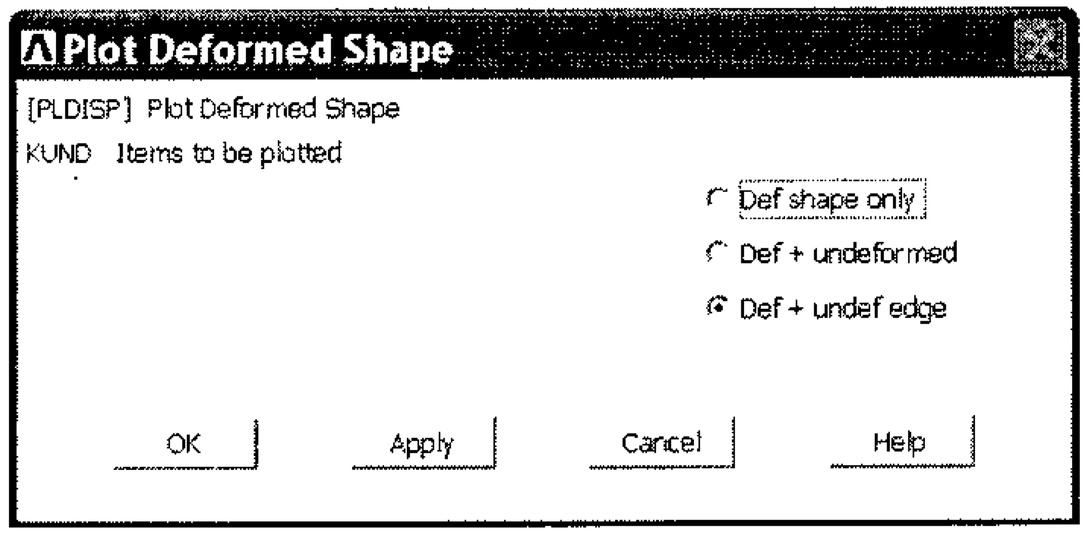
* Chạy chương trình: Từ Main Menu > Solution > Solve > Current LS > Xuất hiện bảng STATUS Command và bảng Solve Current Load Step, thông báo tóm tắt các thông tin trước khi tính toán. Nhấn OK để bắt đầu tính toán đến khi xuất hiện thông báo Solution is done như ở hình 1.94 cho biết việc tính toán đã hoàn thành > Close.



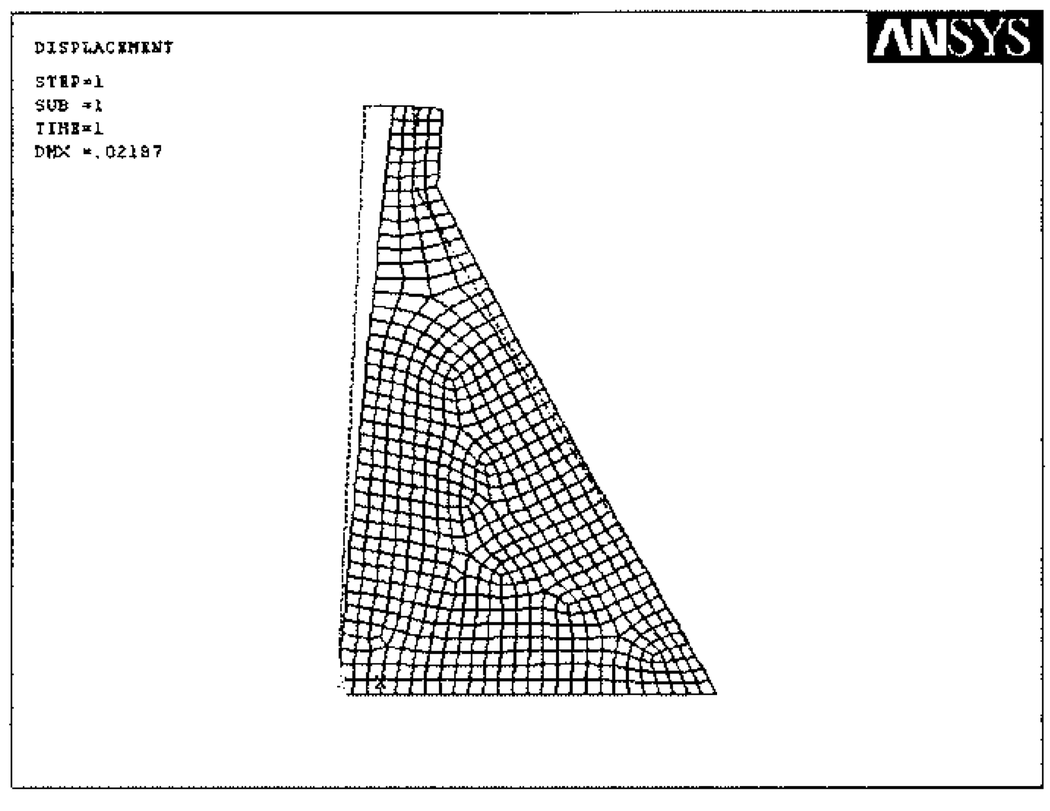
***Hình 1.94.** Quá trình tính toán đã hoàn thành*

b) Khai thác kết quả tính toán

* Chuyển vị của đập: Chuyển vị toàn phần: General Postproc > Plot Results > Deformed Shape > Xuất hiện bảng Plot Deformed Shape như ở hình 1.95 > OK, ta có hình dạng biến dạng của đập như ở hình 1.96, phía góc trên phải hình này cho biết chuyển vị lớn nhất toàn phần của đập DMX = 0.02187m.

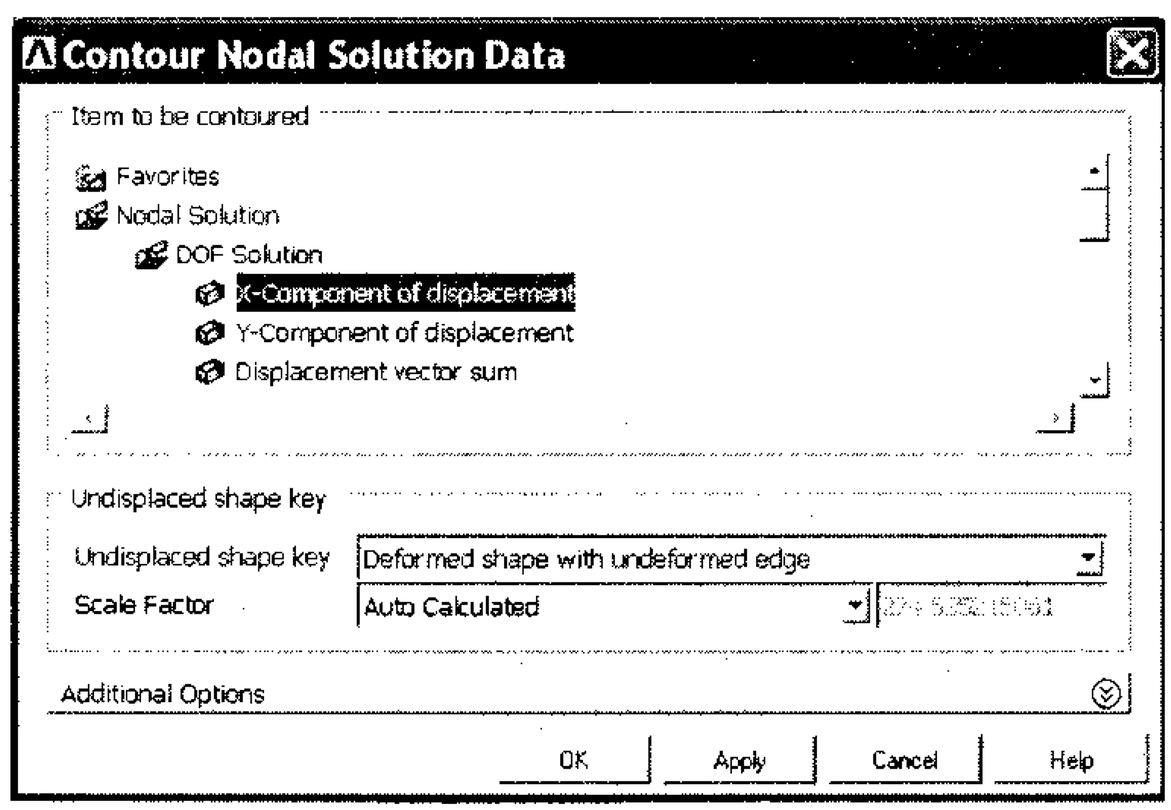


Hình 1.95. *Lệnh xuất hình dạng biến dạng của đập*

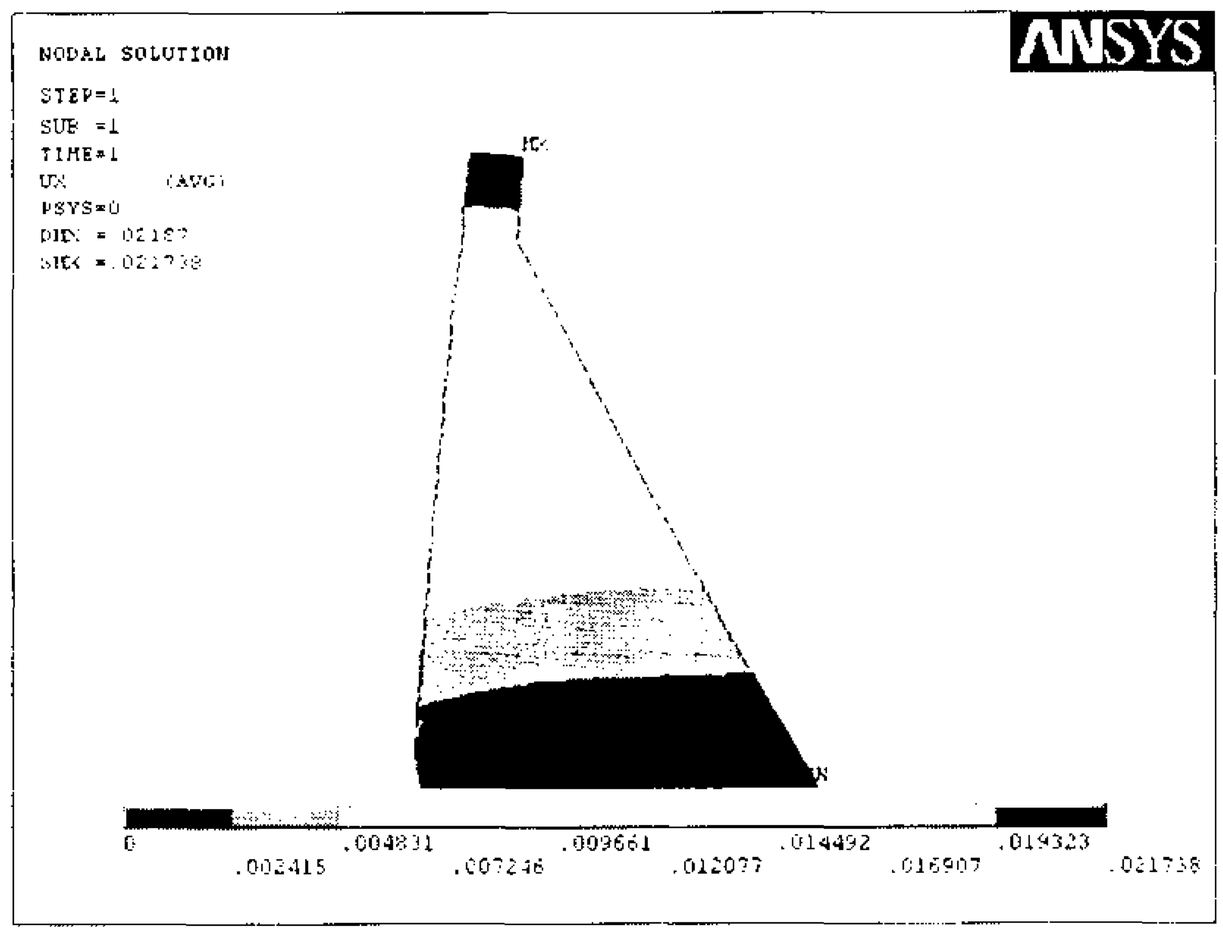


Hình 1.96. *Hình dạng biến dạng của đập*

Hiển thị phổ chuyển vị UX của đập:từ General Postproc > Contour Plot Results > Nodal Solution > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data như ở hình 1.97 > Nodal Solution > DOF Solution > X-Component of Displacement > OK > Ta có phổ mầu chuyển vị theo phương X như ở hình 1.98. Chuyển vị ngang lớn nhất SMX = 0.021738m.

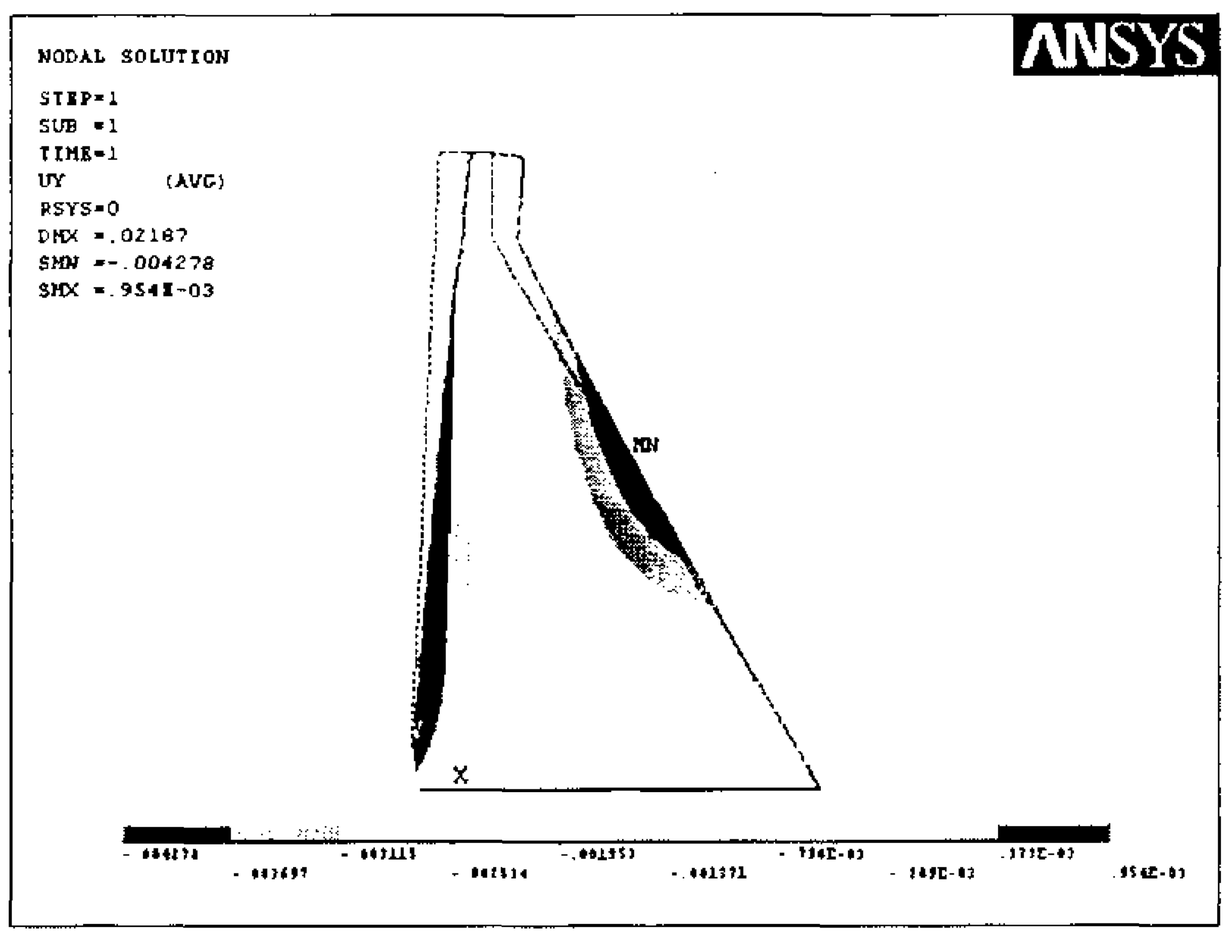


Hình 1.97. *Lệnh xuất chuyển vị UX của đập*



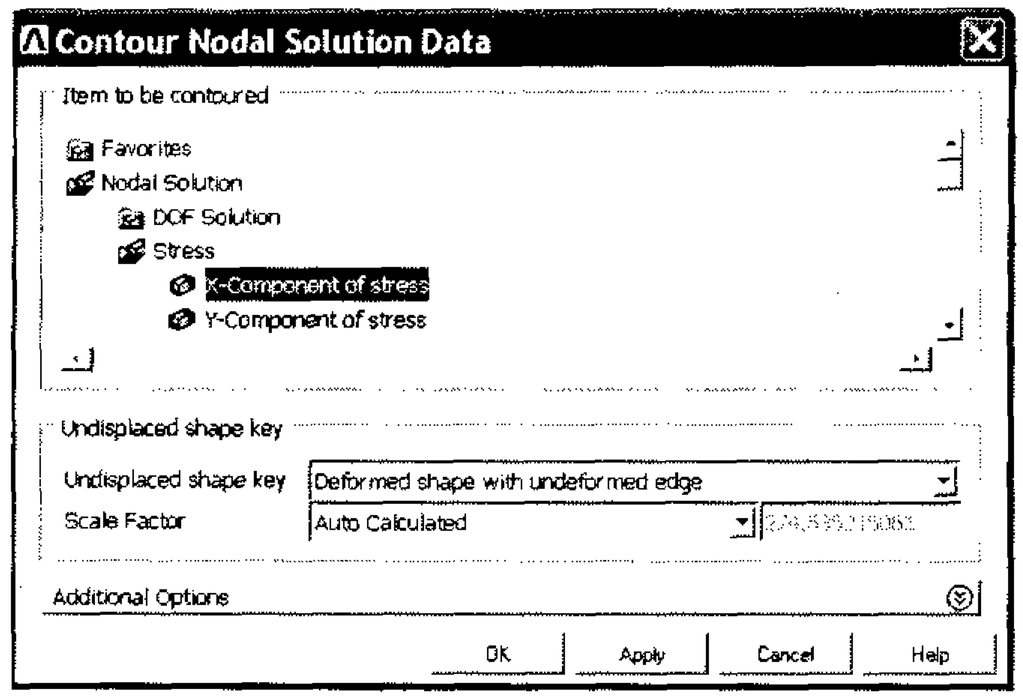
Hình 1.98. Phổ mầu chuyển vị UX của đập

Hiển thị phổ chuyển vị UY của đập từ General Postproc > Contour Plot Results > Nodal Solution > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data > Nodal Solution > DOF Solution > Y-Component of Displacement > OK > Ta có phổ mầu chuyển vị theo phương Y như ở 1.99. Chuyển vị đứng có giá trị lớn nhất SMX = -0.00478m.

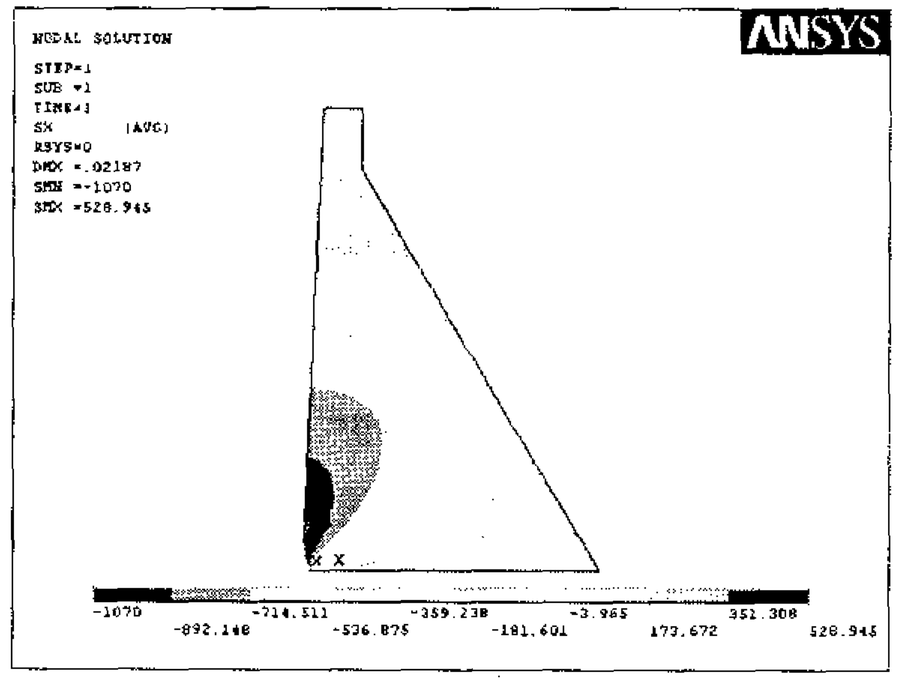


Hình 1.99. Phổ mầu chuyển vị UY của đập

Hiển thị phổ ứng suất SX của đập từ General Postproc > Plot Result > Contour Plot > Nodal Solu > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data như ở hình 1.100 > Nodal Solution > Stress > X-Component of Stress > OK > Ta có phổ mầu ứng suất theo phương X như ở hình 1.101. Ứng suất pháp nén SX nhỏ nhất SMN = -1070kN/m^2, ứng suất pháp kéo SX lớn nhất SMX = 528.9455kN/m^2.

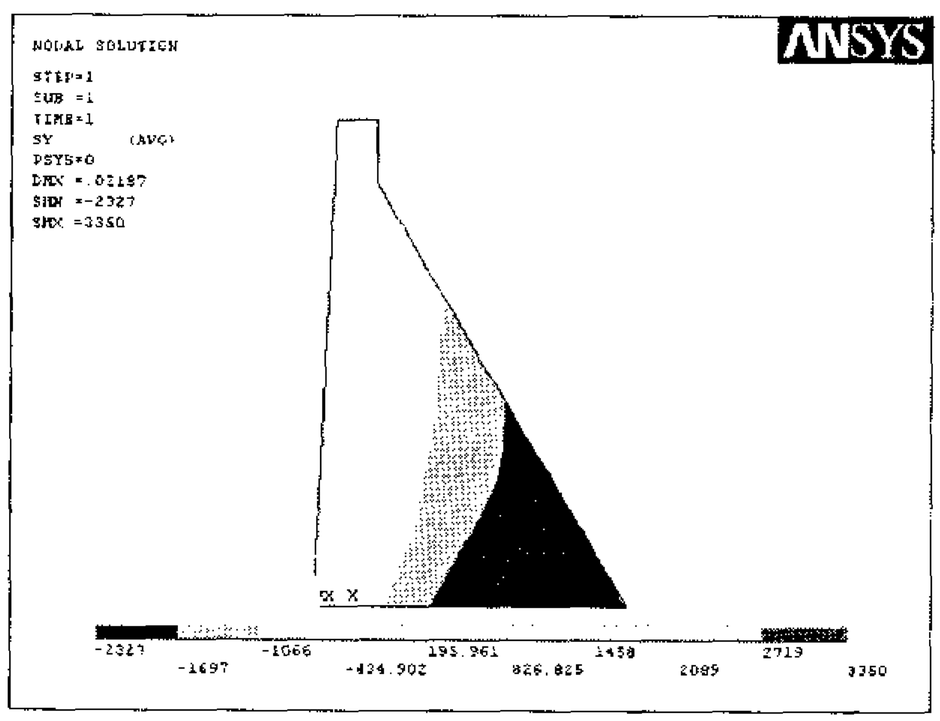


Hình 1.100. Lệnh xuất ứng suất SX của đập



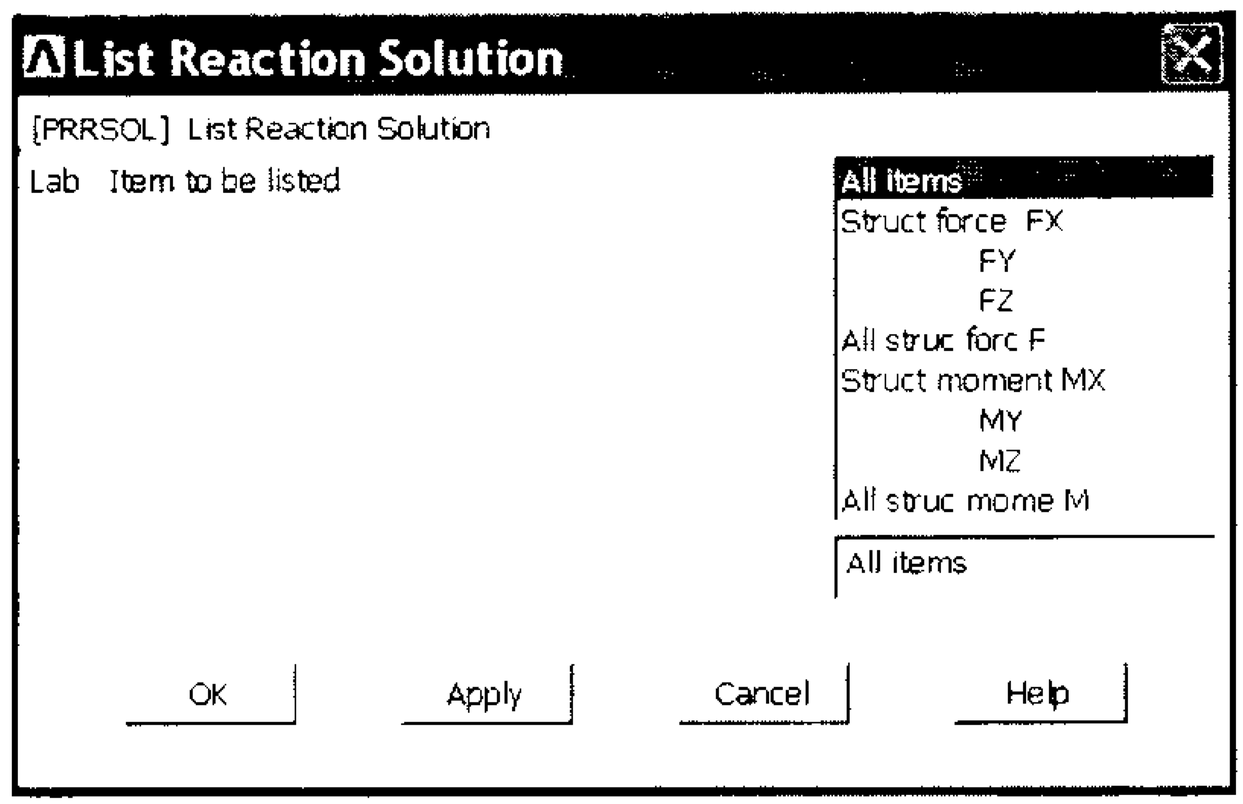
Hình 1.101. Phổ mầu ứng suất SX của đập

Hiển thị phổ ứng suất SY của đập từ General Postproc > Plot Result > Contour Plot > Nodal Solu > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data > Nodal Solution > Stress > Y-Component of Stress > OK > Ta có phổ mầu ứng suất SY như ở hình 1.102. Ứng suất pháp nén SY nhỏ nhất SMN = -2327kN/m^2, ứng suất pháp kéo SY lớn nhất SMX = 3350kN/m^2.



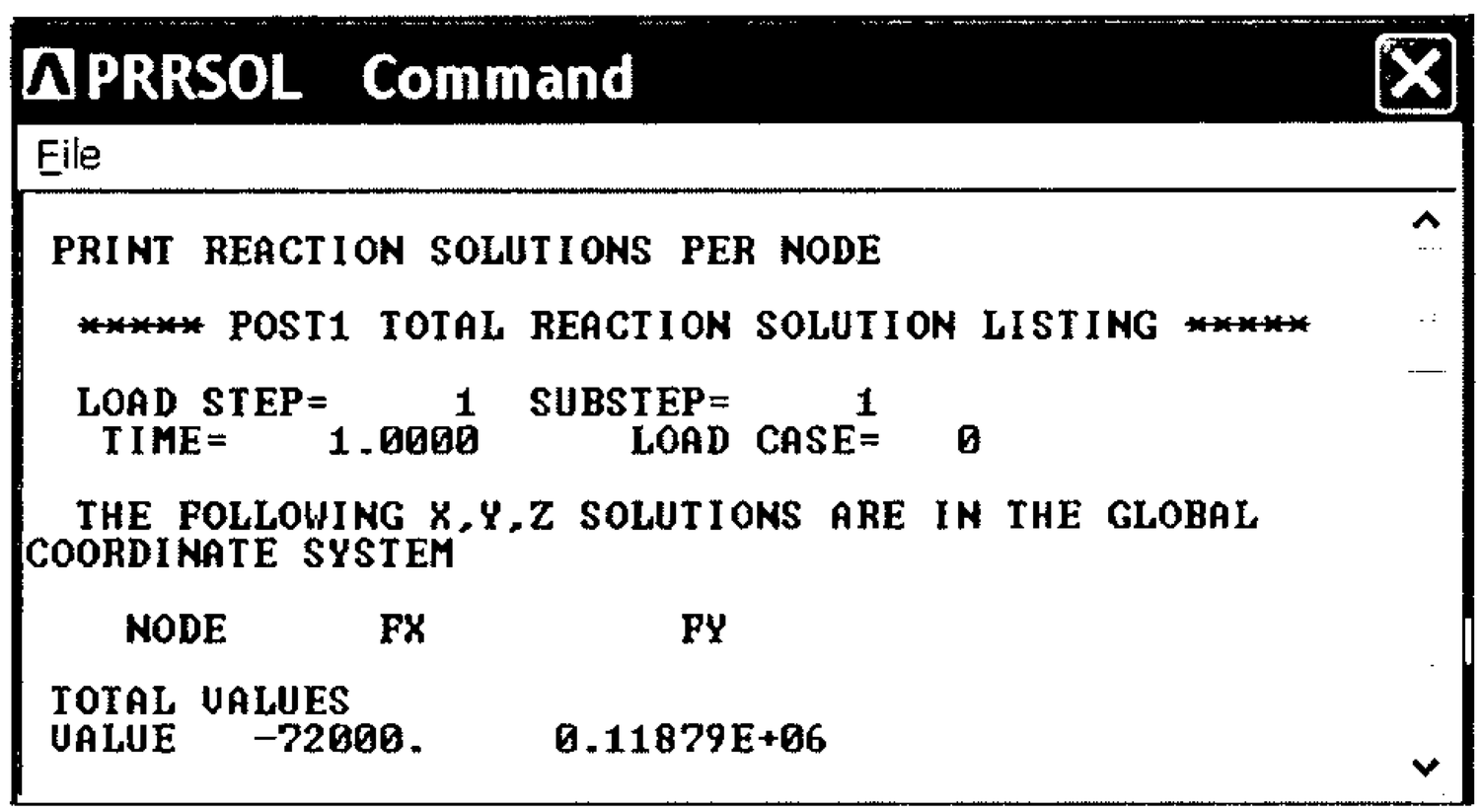
Hình 1.102. Phổ mầu ứng suất SY của đập

* Xuất bảng kết quả tính toán chuyển vị, nội lực và phản lực liên kết: Phản lực liên kết: General Postprocessor > List Results > Reaction Solution > Xuất hiện bảng List Reaction Solution như ở hình 1.103 > Chọn All Items > OK > Xuất hiện bảng PRRSOL Command cho kết quả tính toán các thành phần phản lực tại các nút ở đáy đập như ở bảng 1.6.



Hình 1.103. Lệnh xuất phản lực liên kết

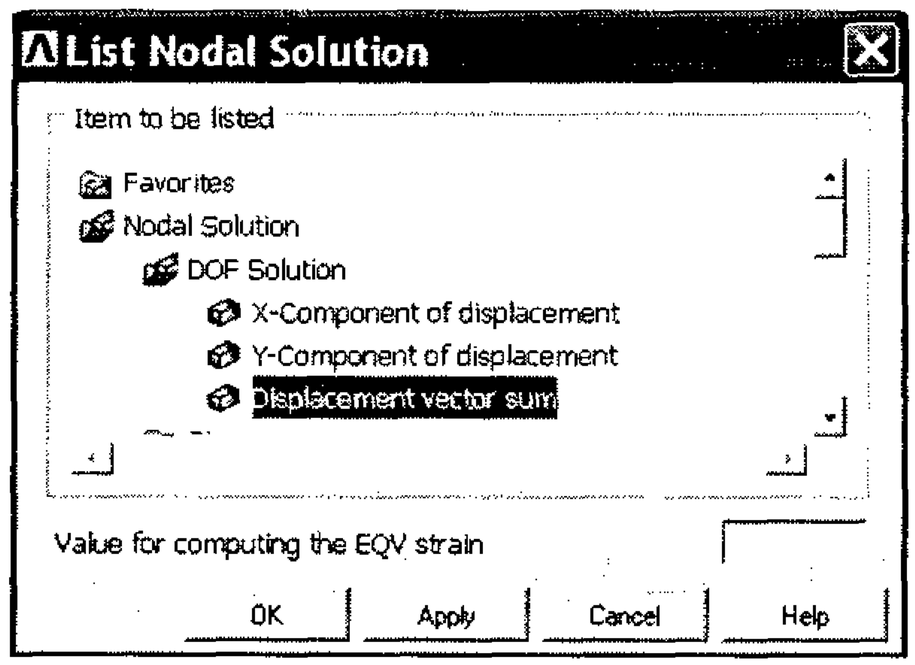
Bảng 1.6. Phản lực liên kết



Từ bảng 1.6 cho biết tổng giá trị phản lực ngang FX = -72000kN bằng tổng giá trị áp lực nước ngang $0.5 \times \gamma \times H^2 \times B = 0.5 \times 10 \times 120^2 \times 1 = 72000$kN và tổng phản lực thẳng đứng FY = 118790kN bằng tổng trọng lượng bản thân đập và áp lực nước đứng tác dụng lên mặt thượng lưu đập:

$$0.5\times10\times5.6\times120\times1+0.5\times24\times[(10+10.87)\times16+0.5\times(10.87+78)\times104]\times1=118812\text{kN}$$

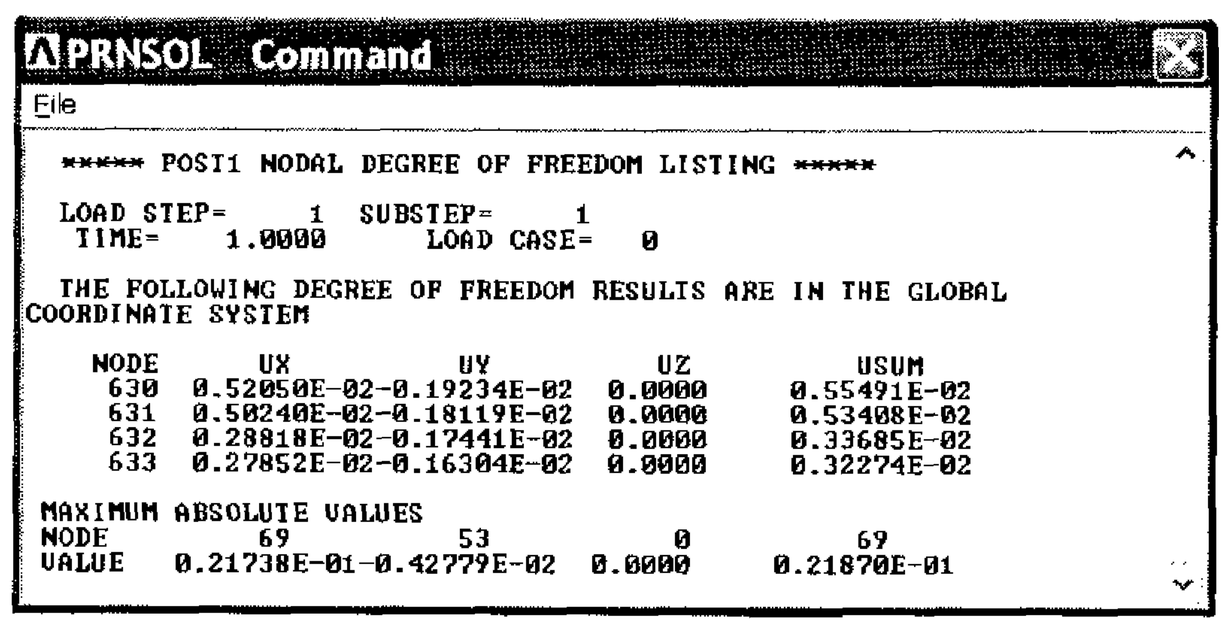
Chuyển vị tại các nút của đập: General Postprocessor > List Results > Nodal Solution > Xuất hiện bảng List Nodal Solution như ở hình 1.104.



Hình 1.104. Lệnh xuất chuyển vị nút

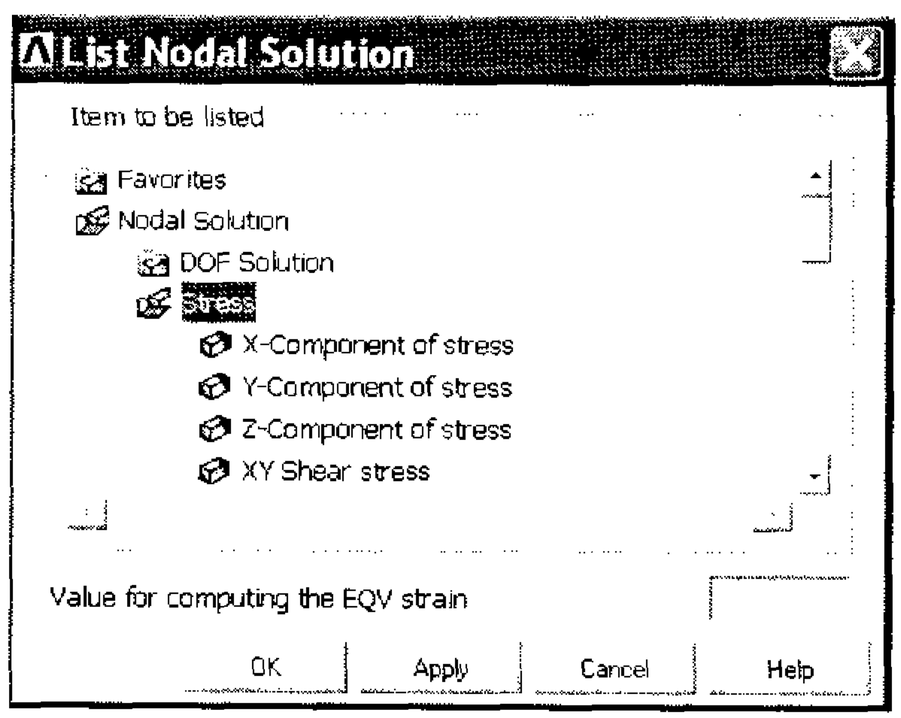
Nodal Solution > DOF Solution > Chọn Displacement Vector USUM > OK > Xuất hiện bảng kết quả tính toán chuyển vị tại các nút của đập cho ở bảng 1.7. Từ bảng 1.7 cho thấy chuyển vị toàn phần lớn nhất tại nút 69 có USUM = 0.021802m, chuyển vị ngang lớn nhất UX=0.021738m tại nút 69 và chuyển vị đứng có giá trị lớn nhất UY = -0.042779m tại nút 53.

Bảng 1.7. Chuyển vị tại một số nút của đập



```
PRNSOL Command
File

***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
 TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL
COORDINATE SYSTEM

   NODE      UX          UY          UZ          USUM
    630  0.52050E-02-0.19234E-02  0.0000     0.55491E-02
    631  0.50240E-02-0.18119E-02  0.0000     0.53408E-02
    632  0.28818E-02-0.17441E-02  0.0000     0.33685E-02
    633  0.27852E-02-0.16304E-02  0.0000     0.32274E-02

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES
NODE        69          53          0          69
VALUE   0.21738E-01-0.42779E-02  0.0000     0.21870E-01
```

Ứng suất tại các nút của đập từ General Postprocessor > List Results > Nodal Solution > Xuất hiện bảng List Nodal Solution như ở hình 1.105.



Hình 1.105. Lệnh xuất ứng suất tại các nút

Nhấn Nodal Solution > Stress > OK > Xuất hiện bảng PRNSOL Command kết quả tính toán thành phần ứng suất tại các nút của đập cho ở bảng 1.8.

Từ bảng 1.8 cho thấy ứng suất SX lớn nhất tại nút 1 có SX = 528.94kN/m^2 và nhỏ nhất tại nút 116 có SX = -1069.80kN/m^2, ứng suất SY lớn nhất tại nút 1 có SY = 3350.30kN/m^2 và nhỏ nhất tại nút 21 có SY = -2327.5kN/m^2, ứng suất SZ lớn nhất tại nút 1 có SZ = 777.84 kN/m^2 và nhỏ nhất tại nút 21 có SZ = - 581.72kN/m^2.

Bảng 1.8. Ứng suất tại một số nút của đập

PRNSOL Command

File

```
****** POST1 NODAL STRESS LISTING ******
PowerGraphics Is Currently Enabled

LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
 TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0
NODAL RESULTS ARE FOR MATERIAL   1

THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

  NODE     SX          SY          SZ          SXY         SYZ         SXZ
   631  -694.11     -975.01     -333.82      598.28      0.0000      0.0000
   632  -568.46     -1424.6     -398.60      809.31      0.0000      0.0000
   633  -573.21     -1374.3     -389.49      794.06      0.0000      0.0000

MINIMUM VALUES
NODE        116          21          21          75           1           1
VALUE   -1069.8     -2327.5     -581.72    -0.96025      0.0000      0.0000

MAXIMUM VALUES
NODE          1           1           1           1           1           1
VALUE    528.94      3350.3      775.84      1245.1      0.0000      0.0000
```

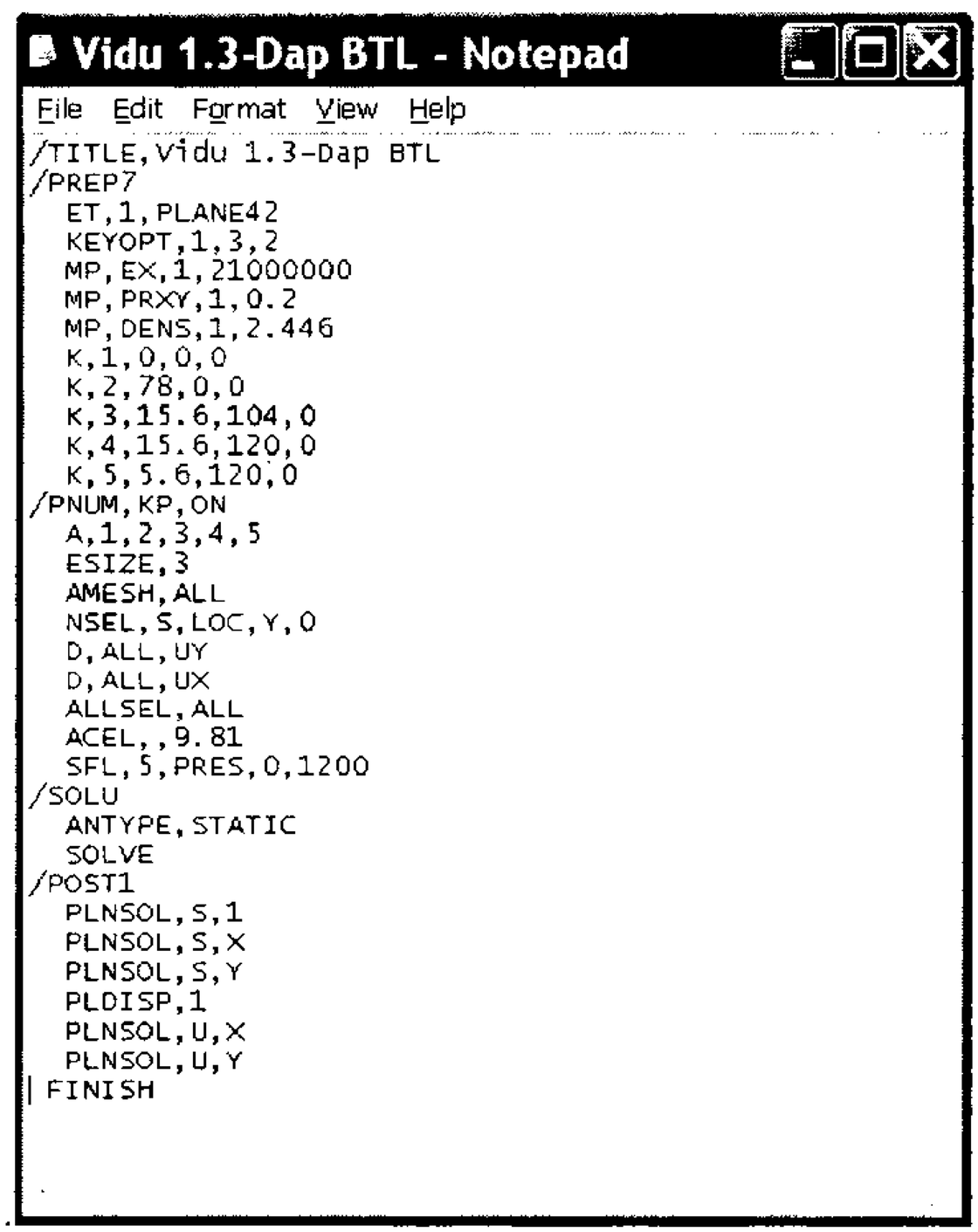
2. Giải theo phương thức COMMAND

```
/TITLE,Vidu 1.3-Dap trong luc
/PREP7
ET,1,PLANE42          !Chọn phần tử phẳng PLANE42
KEYOPT,1,3,2          !Bài toán biến dạng phẳng
MP,EX,1,2.1E+07       !Môđun đàn hồi của vật liệu
MP,PRXY,1,0.2         !Hệ số Poisson
MP,DENS,1,2.446       !Khối lượng riêng
K,1,0,0,0             !Tọa độ điểm 1
K,2,78,0,0            !Tọa độ điểm 2
K,3,15.6,104,0        !Tọa độ điểm 3
K,4,15.6,120,0        !Tọa độ điểm 4
K,5,5.6,120,0         !Tọa độ điểm 5
/PNUM,KP,ON           !Hiển thị mã các điểm đặc trưng
A,1,2,3,4,5           !Mặt được tạo từ các điểm 1, 2, 3, 4, 5
ESIZE,3               !Chọn chiều dài cạnh phần tử 3m
AMESH,ALL             !Chia lưới phần tử của đập
NSEL,S,LOC,Y,0        !Lựa chọn các điểm trên đường Y=0
D,ALL                 !Chọn ràng buộc chuyển vị
ALLSEL,ALL
```

```
ACEL,,9.81              !Gán gia tốc trọng trường
SFL,5,PRES,0,1200       !Gán áp lực nước
/SOLU
ANTYPE,STATIC           !Phân tích tĩnh tải
SOLVE                   !Tiến hành giải
/POST1
PNLSOL,S,1              !Vẽ phổ ứng suất chính 1
PLNSOL,S,X              !Vẽ phổ ứng suất đập theo phương X
PLNSOL,S,Y              !Vẽ phổ ứng suất đập theo phương Y
PLDISP,1                !Vẽ biến dạng đập
PLNSOL,U,X              !Vẽ phổ chuyển vị theo phương X
PLNSOL,U,Y              !Vẽ phổ chuyển vị theo phương Y
FINISH
```

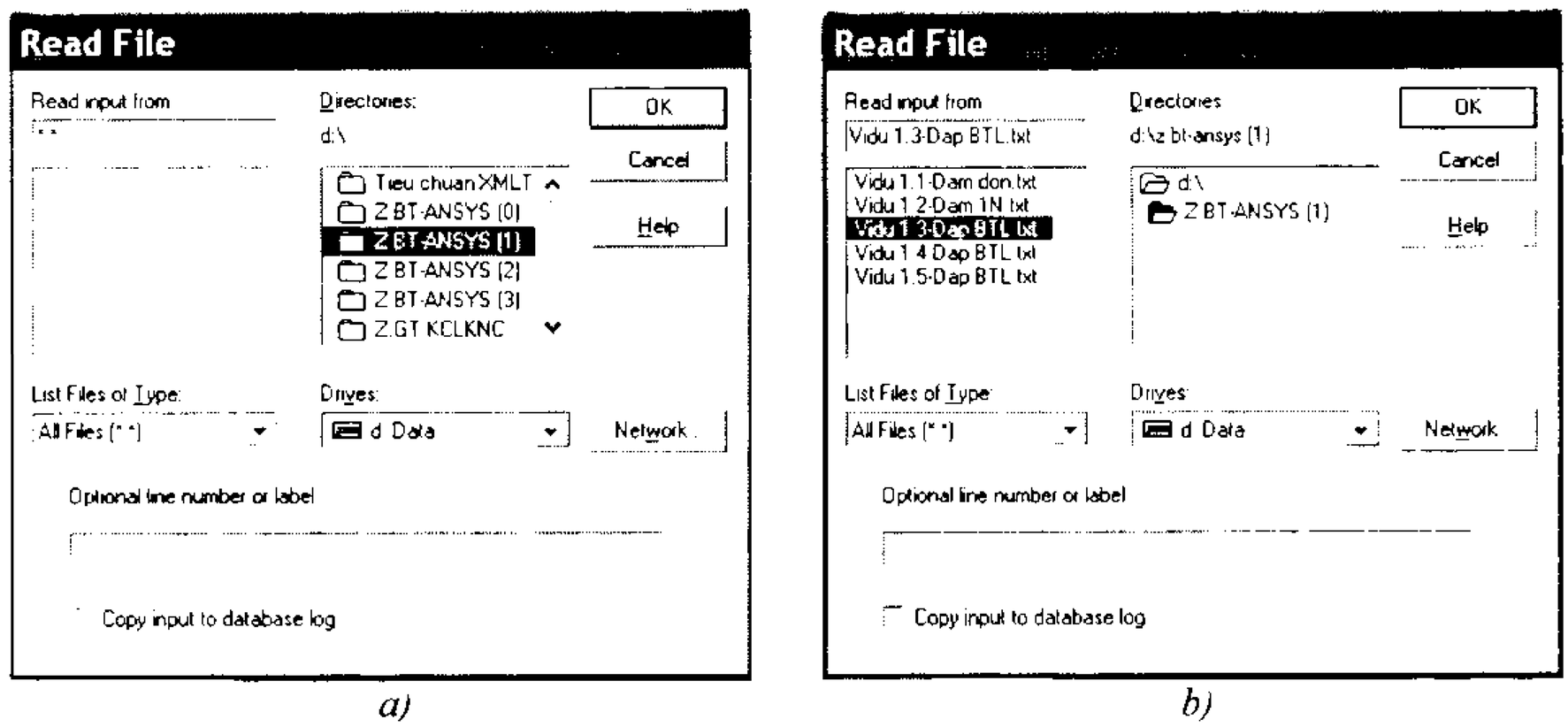
3. Giải theo phương thức APDL

Tạo file dữ liệu cho phương thức APDL: Copy toàn bộ câu lệnh ở trên được soạn thảo trong Word vào phần mềm Notepad có tên file là Vidu 1.3 - Dap BTL.txt như ở hình 1.106 được lưu trong ổ D:\ Thư mục Z.BT-ANSYS (1).



Hình 1.106. *Dữ liệu Vidu 1.3-Dap trọng lực*

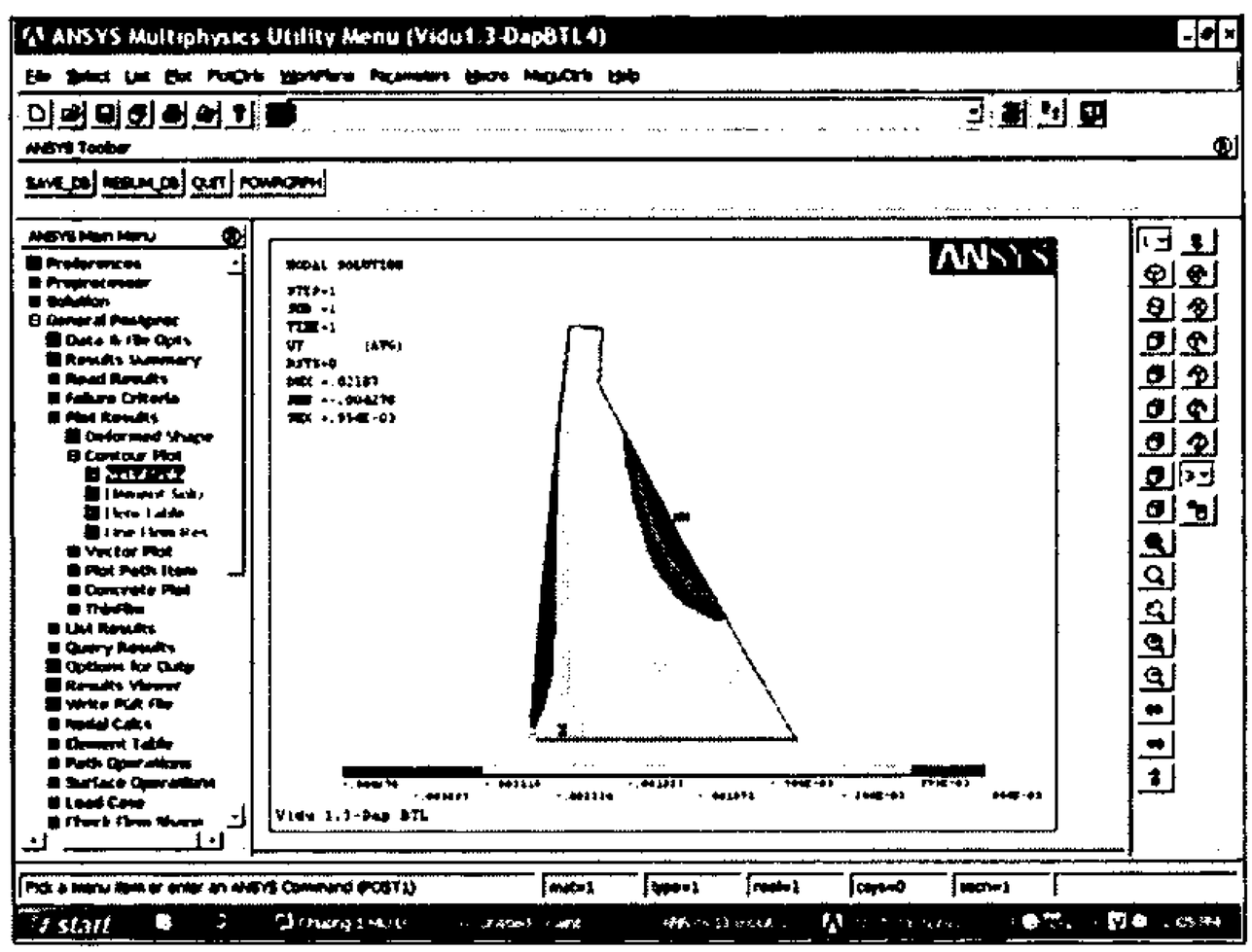
Chạy chương trình: Khởi động phần mềm ANSYS > Nhấn chuột vào biểu tượng > Xuất hiện bảng New Analysis > Nhập Vidu 1.3-Dap BTL ở cửa sổ nhỏ Analysis Jobname > OK. Tiếp đến nhấn File > Read Input from... > Xuất hiện bảng Read File như ở hình 1.07a > Nhấn chuột vào D:\ > Chọn và nhấn đúp chuột thư mục Z.BT-ANSYS (1) ở cửa sổ nhỏ bên phải > Chọn file Vidu 1.3-Dap BTL.txt ở cửa sổ trái như ở hình 1.107b > OK > File dữ liệu của Vidu 1.3-Dap BTL đã được đưa vào phần mềm ANSYS.



a) *b)*

Hình 1.107. *Chọn file Vidu 1.3 - Dap BTL.txt*

Sau khi nhấn OK dữ liệu tính toán sẽ được chuyển vào ANSYS và chương trình sẽ chạy cho đến khi có thông báo Solution is done > OK > Trên màn hình xuất hiện phổ mầu chuyển vị UY như ở hình 1.108, ứng với lệnh hiển thị PLNSOL,U,Y sau lệnh /POST1 ở hình 1.106. Khai thác các kết quả tính toán khác như các phổ mầu chuyển vị, ứng suất,..., được thực hiện tương tự như trong Vidu 1.3 theo phương thức GUI.

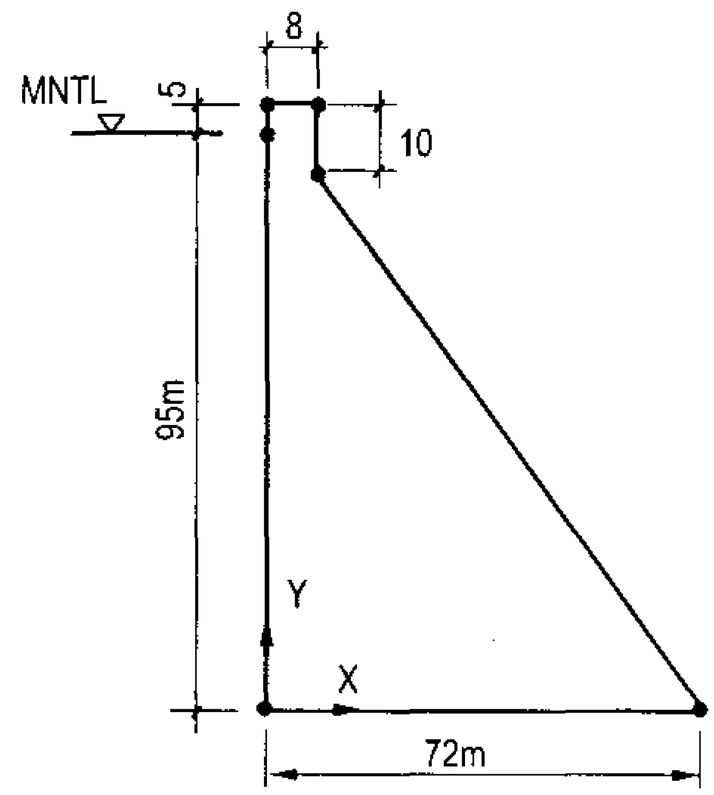


Hình 1.108. *Phổ mầu chuyển vị UY của đập*

• **Ví dụ 1.4. Đập trọng lực**

Xác định trạng thái ứng suất và chuyển vị của đập trọng lực theo bài toán biến dạng phẳng. Đập có kích thước mặt cắt ngang và chịu áp lực nước cách đỉnh đập 5m như ở hình 1.109. Vật liệu bê tông M150 có $E_b = 2.1\times10^7 kN/m^2$, $\mu = 0.2$, $\gamma_b = 24kN/m^3$, trọng lượng riêng của nước $\gamma_n = 10kN/m^3$.

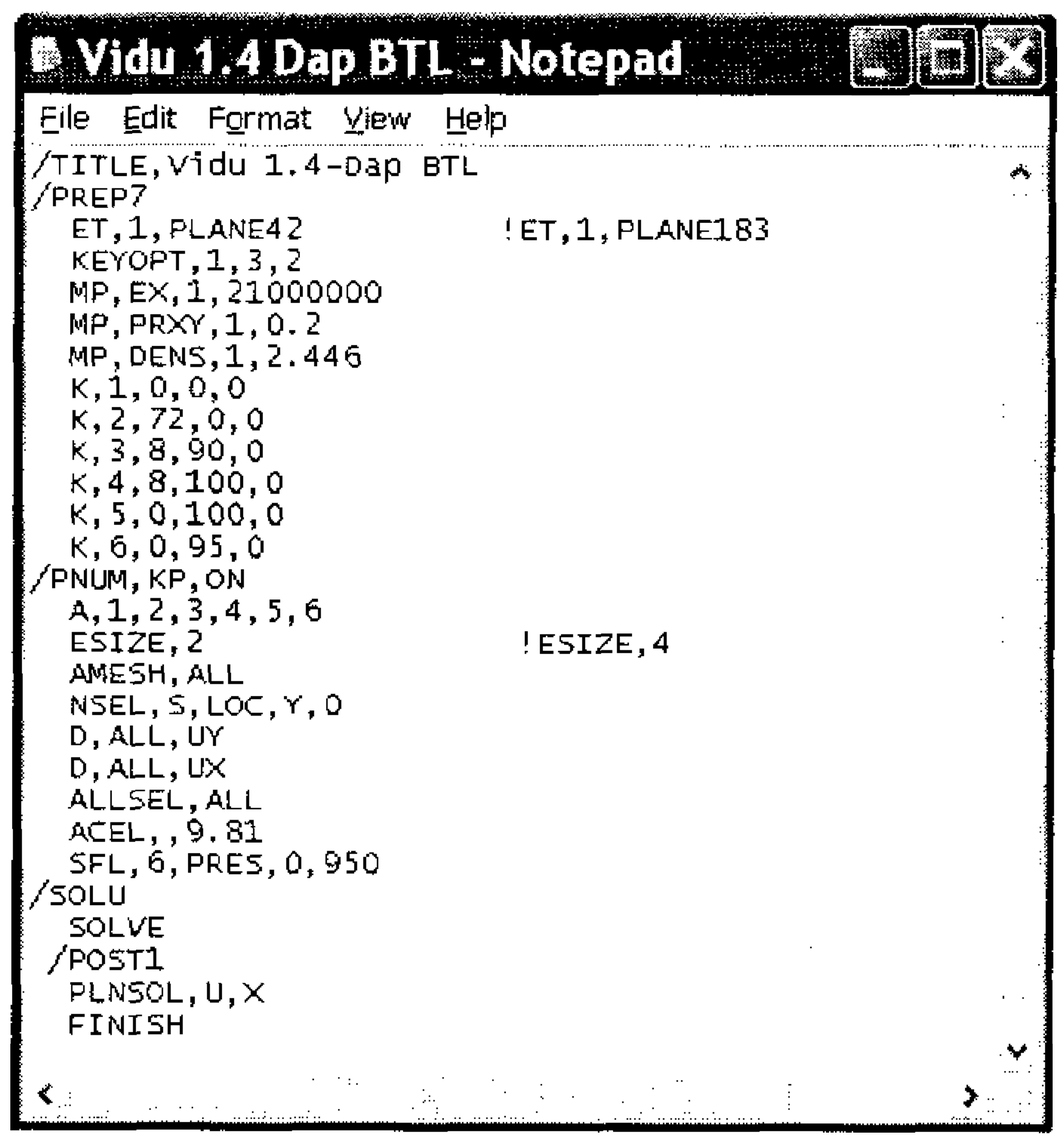
Mặt cắt đập trong Ví dụ 1.4 có dạng tương tự như ví dụ 1.3 chỉ khác là mặt thượng lưu thẳng đứng, bề rộng đáy đập B = 72m, chiều cao đập H = 100m, cột nước thượng lưu H_n = 95m, để giải bài toán này ta dùng phương thức APDL là nhanh hơn cả và được tiến hành như sau:



Hình 1.109. Mặt cắt ngang đập trọng lực

START > Notepad > File > Open > Chọn file Vidu 1.3-Dap BTL > Open > Save as > Vidu 1.4-Dap BTL > OK. Ta có file Vidu 1.4-Dap BTL - Notepad và sửa các dữ liệu đầu vào cho phù hợp với số liệu mới của đập như ở hình 1.110 > File > Save với đường dẫn:

D :\ > ZBT-ANSYS (1) > Vidu 1.4-Dap BTL.txt




```
/TITLE,Vidu 1.4-Dap BTL
/PREP7
  ET,1,PLANE42            !ET,1,PLANE183
  KEYOPT,1,3,2
  MP,EX,1,21000000
  MP,PRXY,1,0.2
  MP,DENS,1,2.446
  K,1,0,0,0
  K,2,72,0,0
  K,3,8,90,0
  K,4,8,100,0
  K,5,0,100,0
  K,6,0,95,0
/PNUM,KP,ON
  A,1,2,3,4,5,6
  ESIZE,2                 !ESIZE,4
  AMESH,ALL
  NSEL,S,LOC,Y,0
  D,ALL,UY
  D,ALL,UX
  ALLSEL,ALL
  ACEL,,9.81
  SFL,6,PRES,0,950
/SOLU
  SOLVE
 /POST1
  PLNSOL,U,X
  FINISH
```

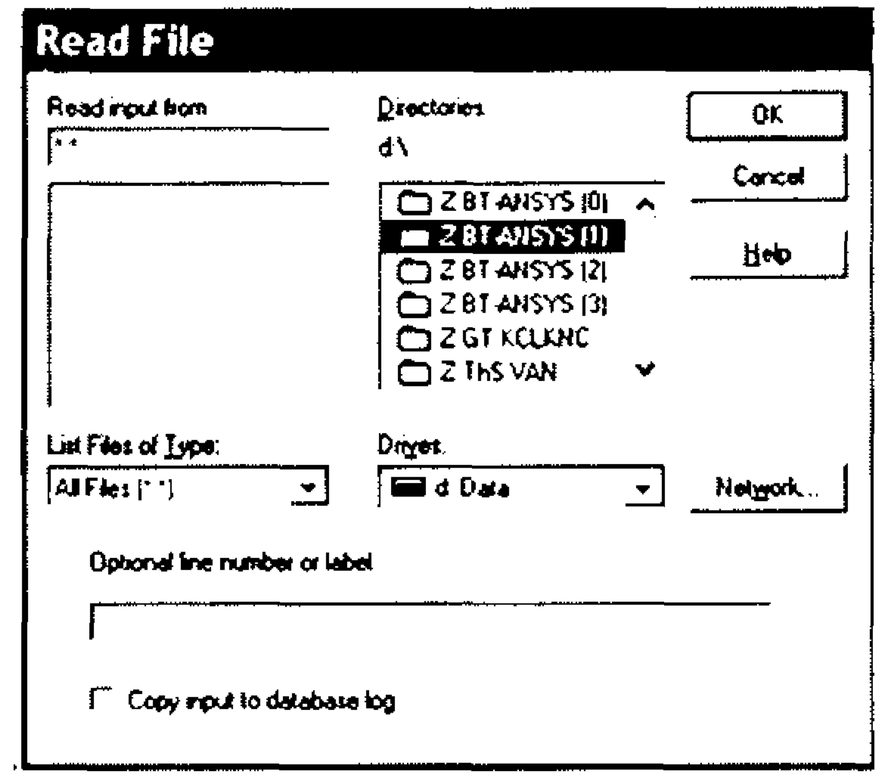
Hình 1.110. File Vidu 1.4-Dap BTL.txt trong Notepad

Khởi động phần mềm ANSYS, nhấn chuột vào biểu tượng > Xuất hiện bảng New Analysis > Nhập Vidu 1.4 - Dap BTL trong cửa sổ nhỏ ở Analysis Jobname > OK.

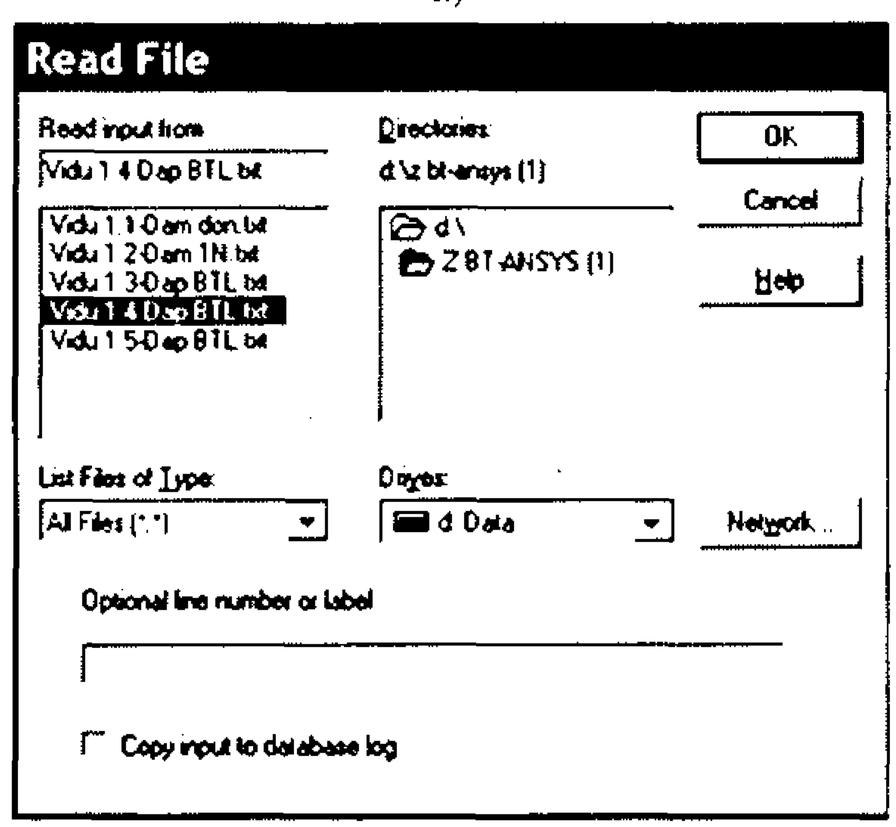
Từ màn hình ANSYS > Menu File > Read Input from... > Xuất hiện bảng Read File > Chọn thư mục Z Bai tap-ANSYS (1) trong ổ D:\ ở cửa sổ phải như ở hình 1.11a > Chọn file Vidu 1.4 - Dap BTL.txt ở cửa sổ trái như ở hình 1.111b > OK.

Sau khi nhấn OK > File dữ liệu của Vidu 1.4-Dap BTL.txt đã được đưa vào phần mềm ANSYS và chương trình sẽ chạy, cho đến khi xuất hiện phổ mầu chuyển vị UX như ở hình 1.112 ứng với dòng lệnh PNLSOL,U, X ở cuối hình 1.110, thông báo việc tính toán đã thực hiện xong > Nhấn OK và khai thác kết quả tính toán về chuyển vị và ứng suất như Vidu 1.3-Dap BTL. Từ hình 1.112 cho biết chuyển vị lớn nhất của đập DMX = 0.00682m.

Nếu dùng phần tử PLANE183 có 8 điểm nút với hàm xấp xỉ chuyển vị bậc cao hơn phần tử PLANE42, có thể chọn kích thước phần tử lớn hơn (trong bài toán này chọn SIZE=4m), thì chỉ cần thay dòng lệnh ET,1,PLANE42 bằng ET,1,PLANE183 và thay dòng lệnh ESIZE,2 bằng ESIZE,4 như đã ghi trong phần chú thích ở hình 1.110. Cho chương trình chạy lại, ta có kết quả tính toán cho ở hình 1.113 có DMX = 0.006825 với độ chính xác cao hơn một chút so với phần tử PLANE42.

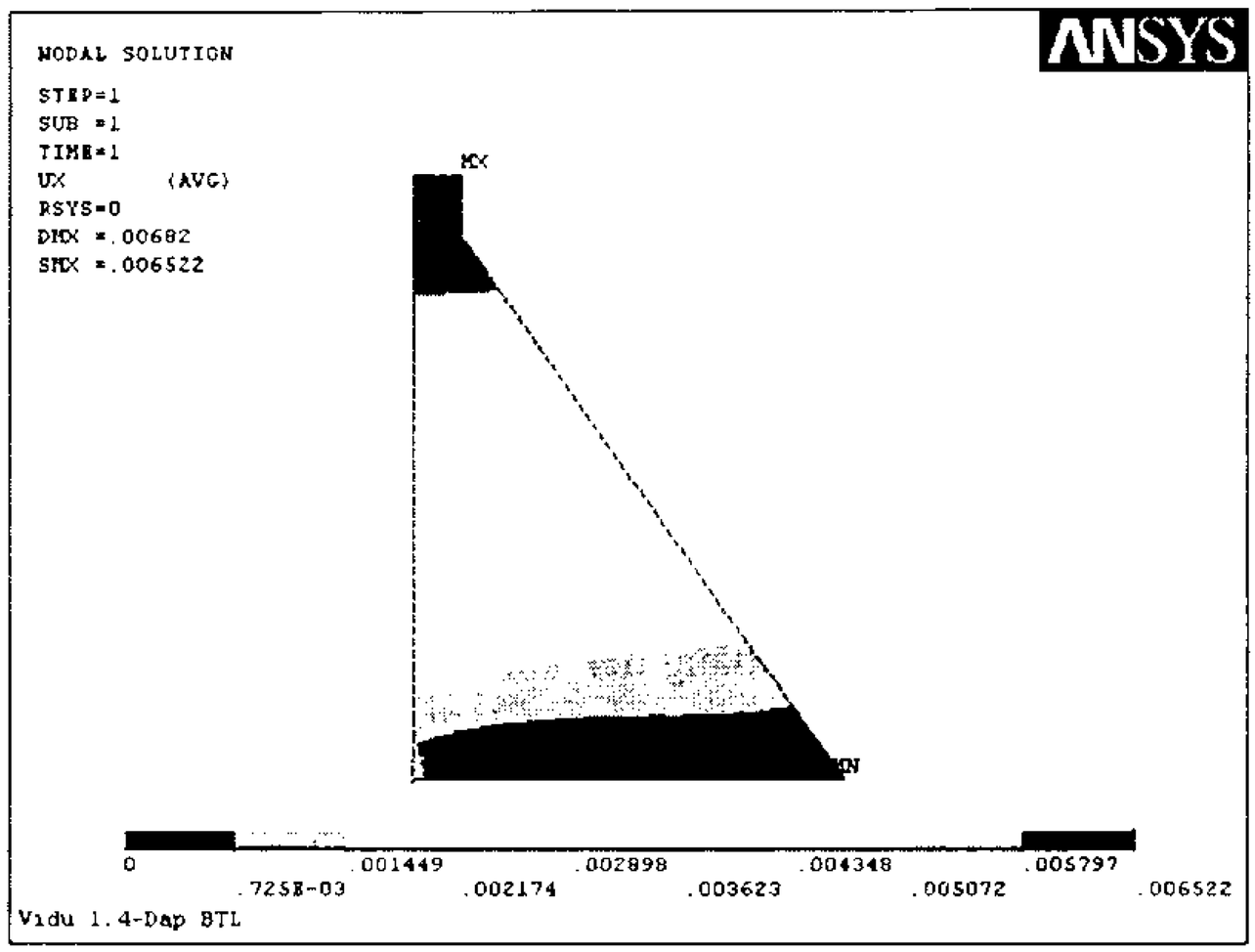


a)

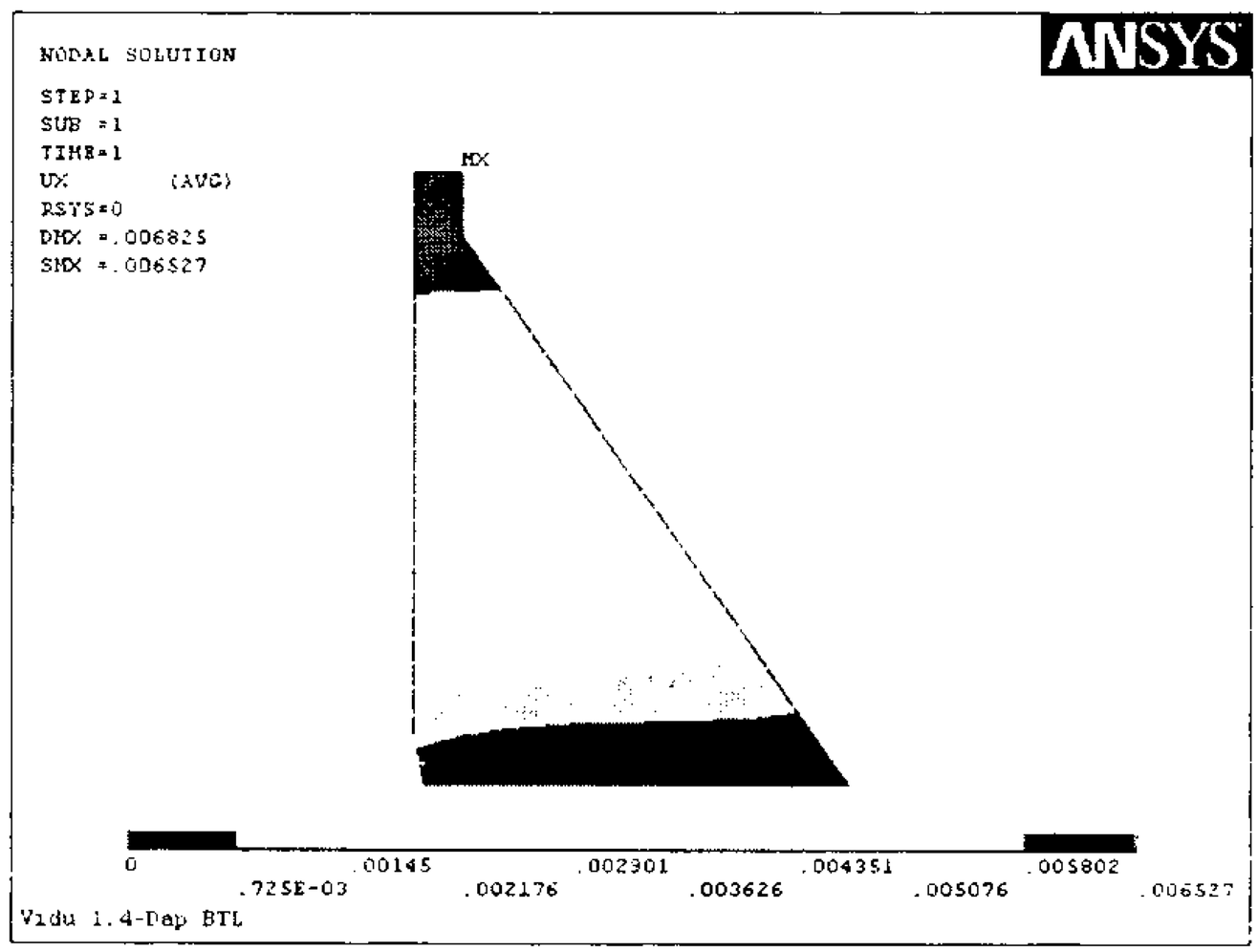


b)

Hình 1.111. *Chọn và đọc file Vidu 1.4-Dap BTL.txt vào ANSYS*



Hình 1.112. *Phổ mầu chuyển vị UX (PLANE42 - ESIZE,2)*



Hình 1.113. *Phổ mầu chuyển vị UX (PLANE183 - ESIZE,4)*

Chương 2
KẾT CẤU GIÀN

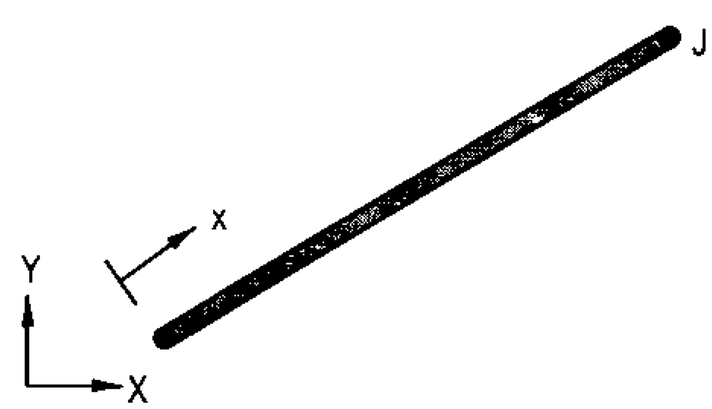
2.1. KẾT CẤU GIÀN

Giàn được cấu tạo bởi các thanh thẳng liên kết với nhau bằng các nút ở hai đầu thanh, đường trục của các thanh giàn là đường trọng tâm tiết diện, thường đường trục các thanh giàn được cấu tạo cho đồng quy tại một điểm. Nếu giả thiết các thanh giàn được liên kết với nhau bằng các khớp lý tưởng và trong tính toán bỏ qua trọng lượng bản thân của giàn và khi tải trọng chỉ tác dụng tại các nút của giàn, thì các thanh giàn chỉ chịu lực dọc. Vậy với giàn phẳng thường được mô hình hóa bằng các phần tử LINK1, với giàn không gian được mô hình hóa bằng các phần tử LINK8.

2.2. PHẦN TỬ THANH (LINK)

2.2.1. Phần tử LINK1

Phần tử LINK1 là phần tử thanh 2 chiều chỉ có thể chịu kéo hoặc nén dọc trục, có 2 nút ở hai đầu, mỗi nút có 2 độ tự do và thường dùng để mô phỏng kết cấu giàn phẳng. Kết quả tính toán ứng suất, nội lực, chuyển vị có thể xuất dưới dạng bảng và phổ mầu.



Hình 2.1. Phần tử LINK1

Hình dạng hình học, vị trí 2 điểm nút, hệ tọa độ tổng thể và cục bộ của phần tử LINK1 được biểu thị ở hình 2.1.

Số liệu đầu vào: Số liệu đầu vào của phần tử LINK1 cho ở bảng 2.1.

Bảng 2.1. Số liệu đầu vào của phần tử LINK1

Tên gọi	LINK1
Điểm nút	I, J
Độ tự do	UX, UY
Hằng số thực	AREA (diện tích mặt cắt), ISTRN (biến dạng ban đầu)
Đặc trưng của vật liệu	EX, ALPX, DENS, DAMP
Tải trọng bề mặt	Không có
Tải trọng khối	Nhiệt độ: T(I), T(J)
Đặc tính	Dẻo, từ biến, dãn nở, ứng suất cứng hóa, biến dạng lớn, chuyển vị lớn, phần tử sinh và chết

Số liệu đầu ra: Số liệu đầu ra của phần tử LINK1 cho ở bảng 2.2.

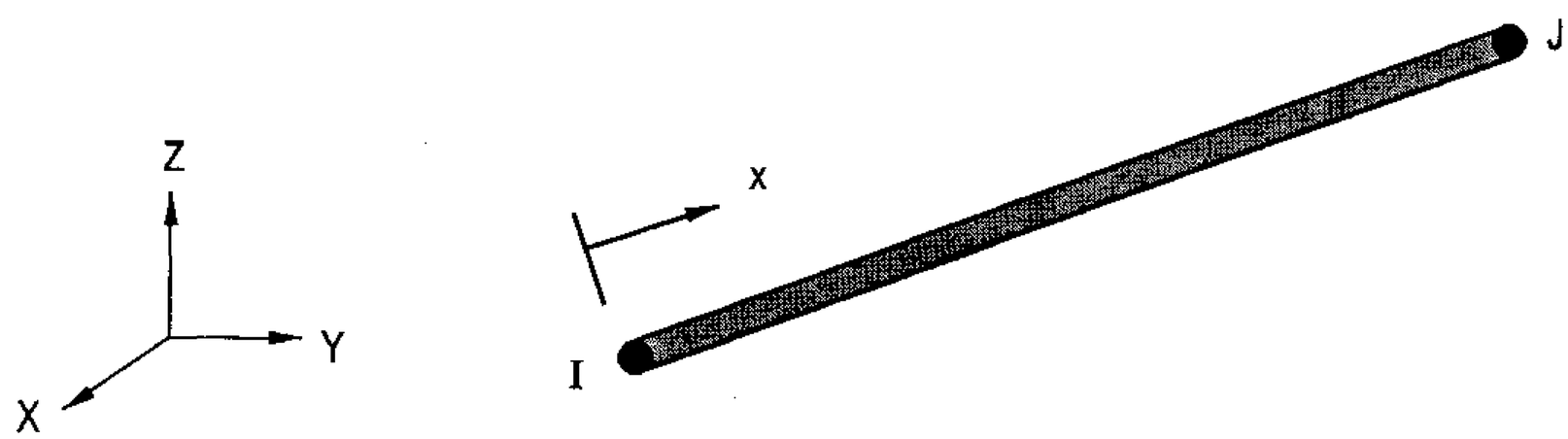
Bảng 2.2. Số liệu đầu ra của phần tử LINK1

Tên	Định nghĩa
EL	Mã phần tử
NODES	Mã nút I, J của phần tử
MAT	Mã vật liệu
VOLU	Thể tích
XC, YC	Tọa độ trọng tâm của phần tử
TEMP	Nhiệt độ hai điểm nút T(I) và T(J)
PRES	Áp lực
MFORX	Lực theo phương X của hệ tọa độ phần tử
SAXL	Ứng suất theo phương dọc trục của phần tử
EPLAXL	Biến dạng đàn hồi theo phương dọc trục của phần tử
EPTHAXL	Biến dạng nhiệt phương dọc trục của phần tử
EPINAXL	Biến dạng ban đầu theo phương dọc trục của phần tử
EPLAXL	Biến dạng dẻo theo phương dọc trục của phần tử
EPCRAXL	Biến dạng từ biến theo phương dọc trục của phần tử
EPSWAXL	Biến dạng dãn nở theo phương dọc trục của phần tử

2.2.2. Phần tử LINK8

Phần tử LINK8 là phần tử thanh 3 chiều chỉ có thể chịu kéo hoặc nén dọc trục, có 2 nút ở hai đầu, mỗi nút có 3 độ tự do và thường dùng để mô phỏng kết cấu giàn không gian. Kết quả tính toán ứng suất, nội lực, chuyển vị có thể xuất dưới dạng bảng.

Hình dạng hình học, vị trí 2 điểm nút, hệ tọa độ tổng thể và cục bộ của phần tử LINK8 được biểu thị ở hình 2.2.



Hình 2.2. *Phần tử LINK8*

Số liệu đầu vào: Số liệu đầu vào của phần tử LINK8 cho ở bảng 2.3.

Số liệu đầu ra: Số liệu đầu ra của phần tử LINK8 cho ở bảng 2.4.

Bảng 2.3. Số liệu đầu vào của phần tử LINK8

Tên gọi	LINK8
Điểm nút	I, J
Độ tự do	UX, UY, UZ
Hằng số thực	AREA (diện tích mặt cắt), ISTRN (biến dạng ban đầu)
Đặc trưng của vật liệu	EX, ALPX, DENS, DAMP
Tải trọng bề mặt	Không có
Tải trọng khối	Nhiệt độ: T(I), T(J)
Đặc tính	Dẻo, từ biến, dãn nở, ứng suất cứng hóa, biến dạng lớn, phần tử sinh và chết

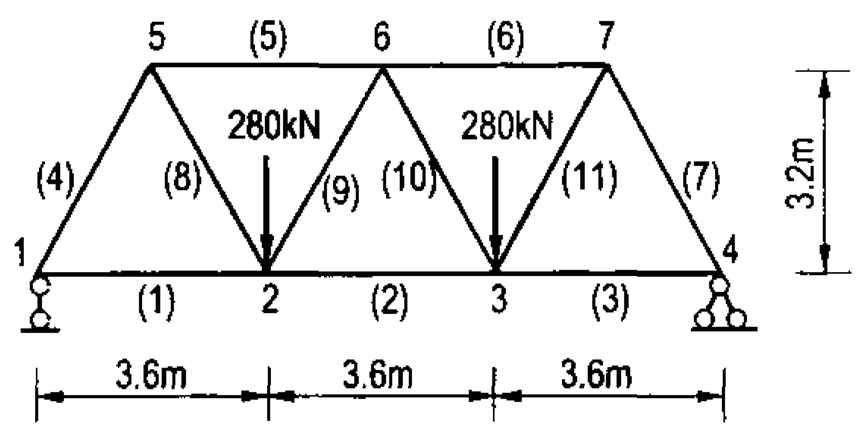
Bảng 2.4. Số liệu đầu ra của phần tử LINK8

Tên	Định nghĩa
EL	Mã phần tử
NODES	Mã nút I, J của phần tử
MAT	Mã vật liệu
XC, YC, ZC	Tọa độ trọng tâm của phần tử
TEMP	Nhiệt độ hai điểm nút T(I) và T(J)
STAT	Trạng thái phần tử
MFORX	Lực theo phương X của hệ tọa độ phần tử
SAXL	Ứng suất theo phương dọc trục của phần tử
EPLAXL	Biến dạng đàn hồi theo phương dọc trục của phần tử
EPTHAXL	Biến dạng nhiệt theo phương dọc trục của phần tử
EPINAXL	Biến dạng ban đầu theo phương dọc trục của phần tử
EPLAXL	Biến dạng dẻo theo phương dọc trục của phần tử
EPCRAXL	Biến dạng từ biến theo phương dọc trục của phần tử
EPSWAXL	Biến dạng dãn nở theo phương dọc trục của phần tử

2.3. PHÂN TÍCH KẾT CẤU GIÀN

- **Ví dụ 2.1. Giàn phẳng hình thang**

Xác định chuyển vị, lực dọc và ứng suất trong các thanh giàn của giàn phẳng có sơ đồ tính toán cho ở hình 2.3, bỏ qua trọng lượng bản thân của giàn. Tiết diện mặt cắt ngang các thanh giàn A = 32cm^2. Vật liệu thép CT3 có E = 2.1×10^{8}kN/m^2, μ = 0.3.



Hình 2.3. Sơ đồ tính toán giàn

1. Phương thức GUI

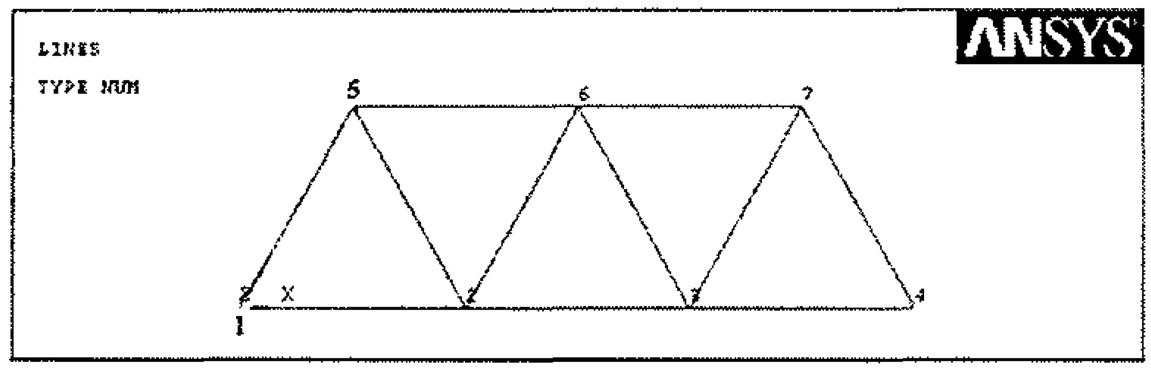
* Đặt tên cho bài toán: Từ menu File > Change Title...> Xuất hiện bảng Change Title

Nhập: Vi du 2-1-Gian phang > OK

* Kết cấu giàn : Tạo 7 điểm nút: Prep > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS > Xuất hiện bảng Create Keypoints in Active Coordinate System:

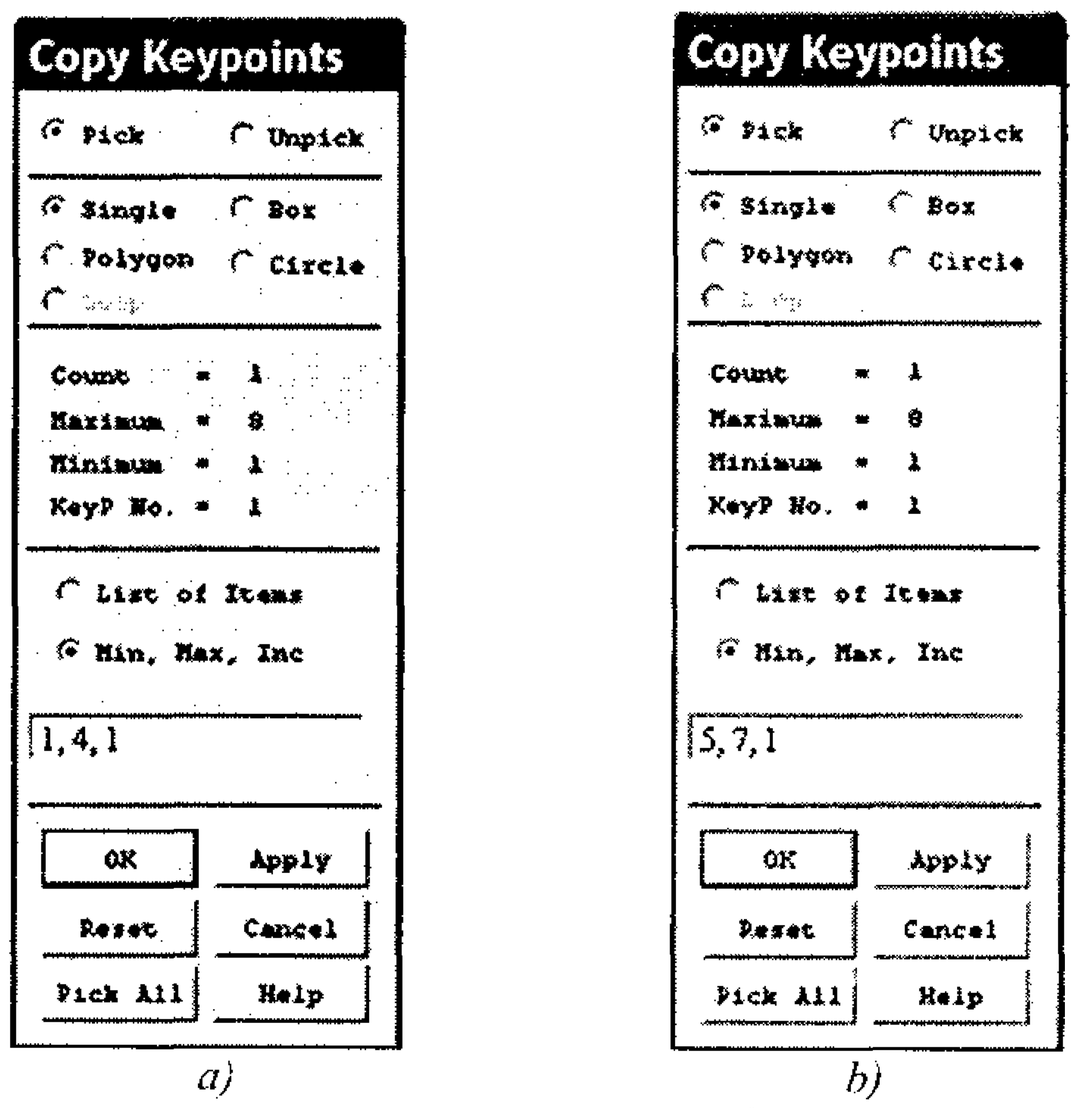
Nhập điểm 1 với tọa độ X=0, Y=0, Z=0 > Apply với hệ đơn vị chọn là kN, m.

Nhập điểm 5 với tọa độ X=1.8, Y=3.2, Z=0 > OK, ta có điểm 1 và 5 như ở hình 2.4.

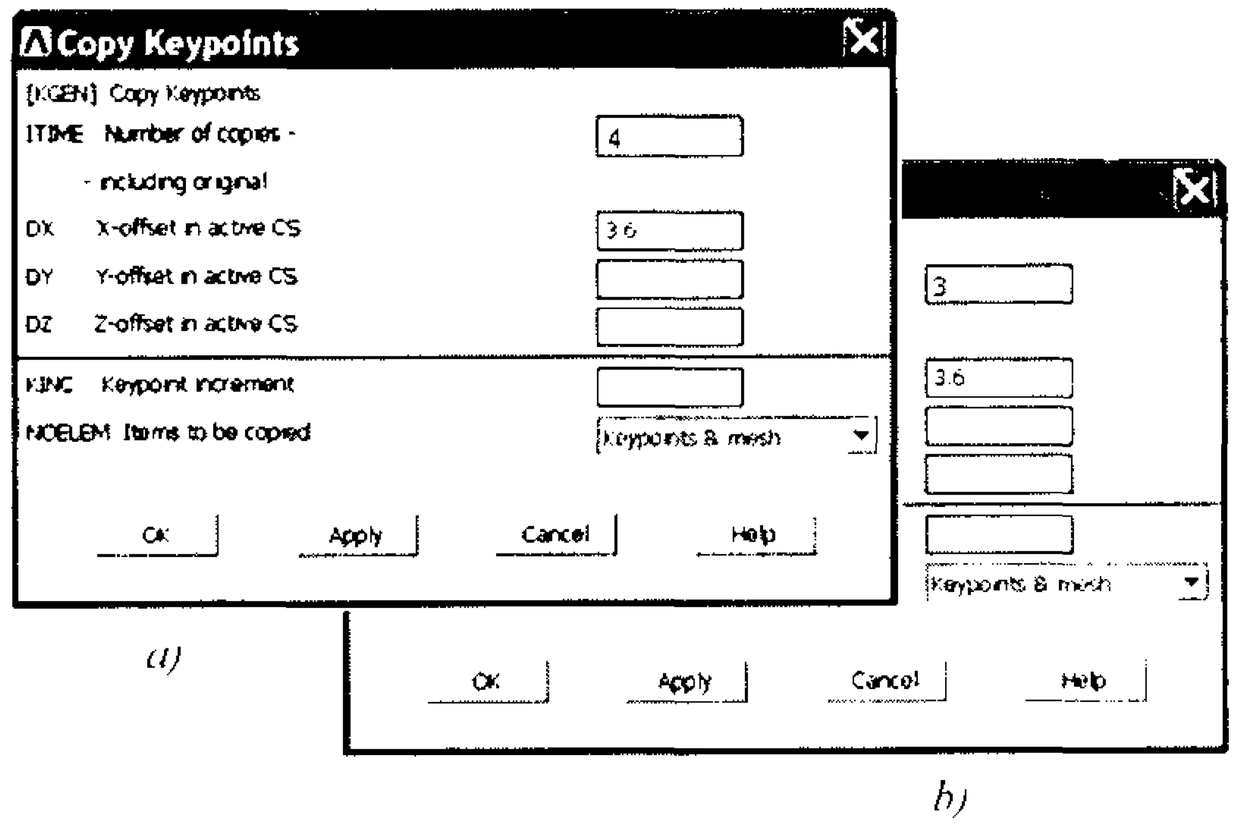


Hình 2.4. Kết cấu giàn và mã các điểm

Sau đó dùng chức năng Copy tạo các nút 2, 3, 4, từ menu Prep > Modeling > Copy > Keypoints > Nhấn chuột vào điểm 1 > Apply > Xuất hiện bảng Copy Keypoints như ở hình 2.5a > Chọn ⊙ Min, Max, Inc > Nhập 1, 4, 1 > Apply > Xuất hiện bảng Copy Keypoints như ở hình 2.6a > Nhập ITIME = 4 và DX = 3,6 > Apply > Ta có các điểm 1, 2, 3 và 4 như ở hình 2.4. Tương tự chọn điểm 5 > OK > Xuất hiện bảng Copy Keypoints như ở hình 2.5b > Chọn ⊙ Min, Max, Inc > Nhập 5, 7, 1 > OK > Xuất hiện bảng Copy Keypoints như ở hình 2.6b > Nhập ITIME = 3 và DX = 3.6 > OK > ta có thêm 2 điểm nữa là 6 và 7 như ở hình 2.4.



Hình 2.5. Lệnh Copy điểm



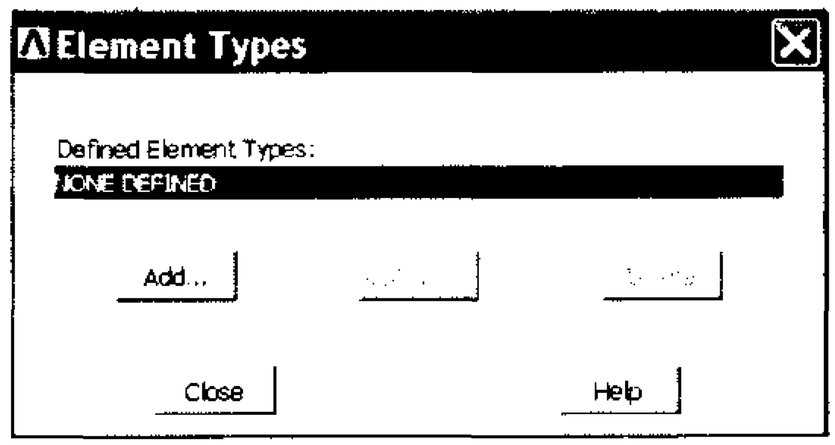
a)

b)

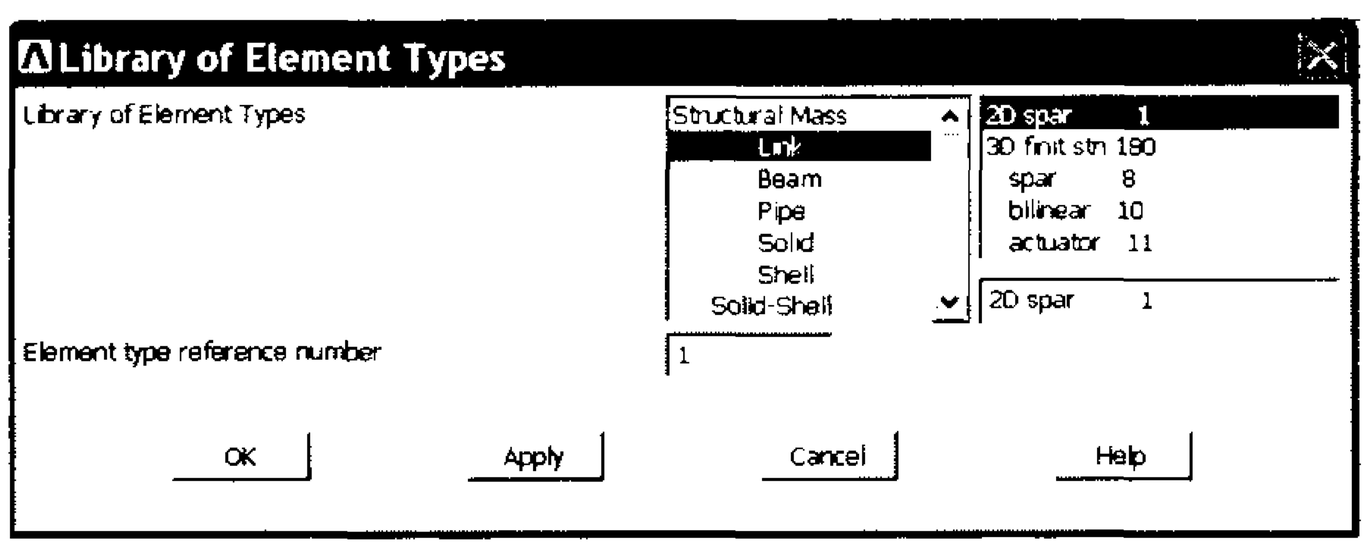
Hình 2.6. *Lệnh Copy điểm*

* Vẽ các thanh giàn: Từ Prep > Modeling > Create > Lines > Straight Line > Nhấn chuột lần lượt vào nút 1-2, 2-3,...và 3-7, ta có sơ đồ giàn như ở hình 2.4.

* Định nghĩa loại phần tử: Prep > Element Type > Add/Edit/Delete > Xuất hiện Element Type như ở hình 2.7 > Add > Xuất hiện bảng Library of Element Types như ở hình 2.8 > Add > Chọn Link ở cửa sổ trái > Chọn 2D spar 1 ở cửa sổ phải > OK > Close. Ta đã chọn xong phần tử LINK1.

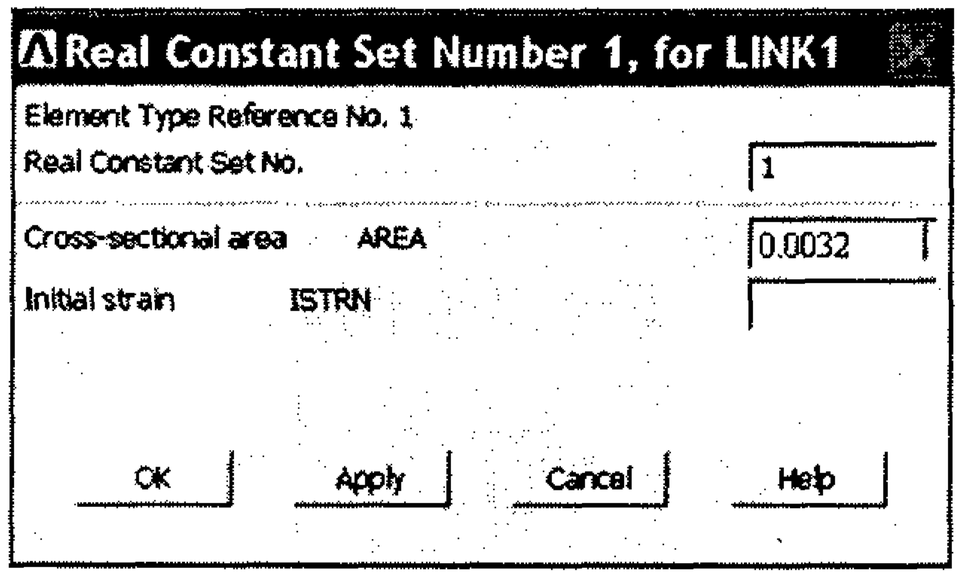


Hình 2.7. *Định nghĩa loại phần tử*



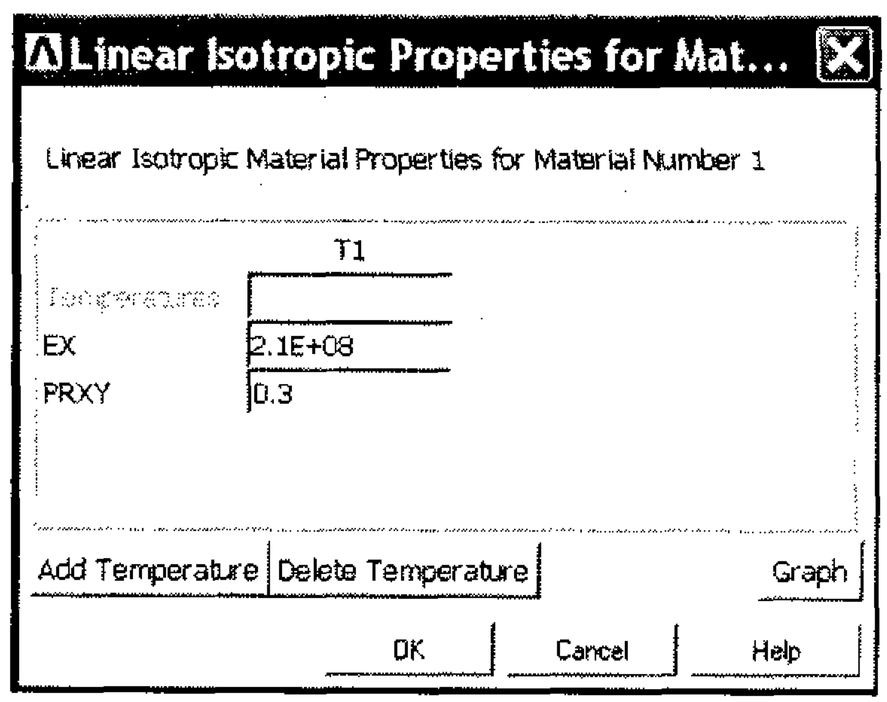
Hình 2.8. *Chọn phần tử LINK1*

* Định nghĩa đặc trưng hình học của thanh giàn : Từ menu Prep > Real Constants > Add\Edit\Delete > Xuất hiện bảng Real Constant Set Number 1, for LINK 1 như ở hình 2.9 và nhập số liệu sau: Diện tích tiết diện AREA = 32E-04 > OK.



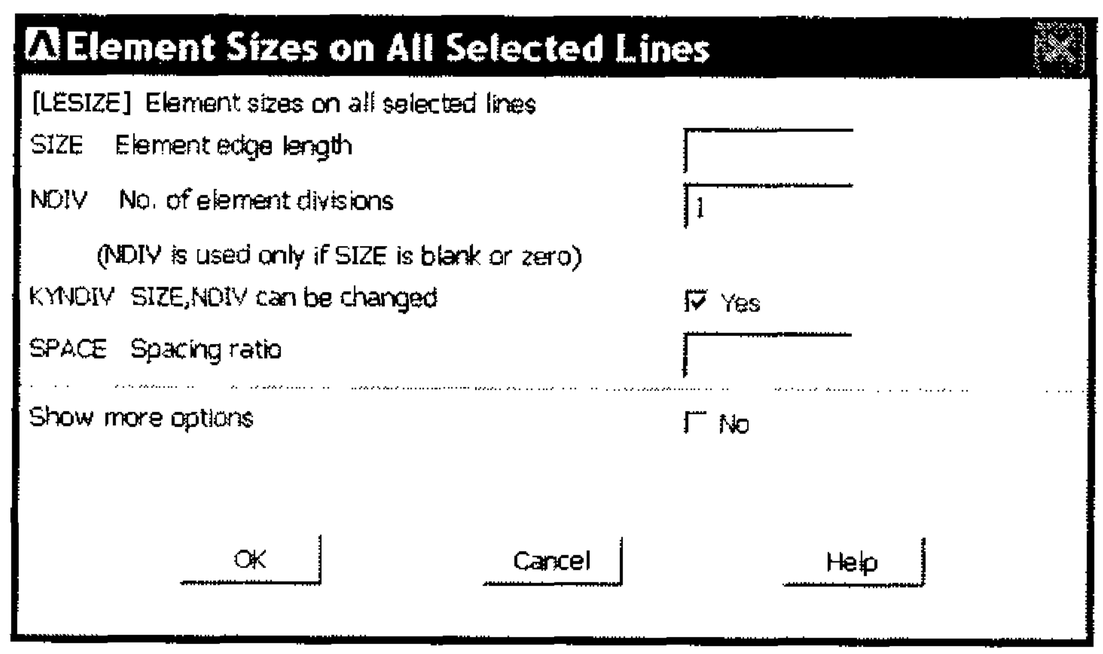
Hình 2.9. *Định nghĩa đặc trưng hình học thanh dàn*

* Định nghĩa thuộc tính của vật liệu: Prep > Material Props > Material Model > Xuất hiện bảng Define Material Model Behavior > Nhấn nút Structural > Linear > Elastic > Isotropic > Xuất hiện bảng Linear Isotropic Properties for Material 1 như ở hình 2.10 > Nhập mô đun đàn hồi EX=2.1E+8 và hệ số Poisson PRXY=0.3 > Material > Exit.



Hình 2.10. *Định nghĩa thuộc tính của vật liệu*

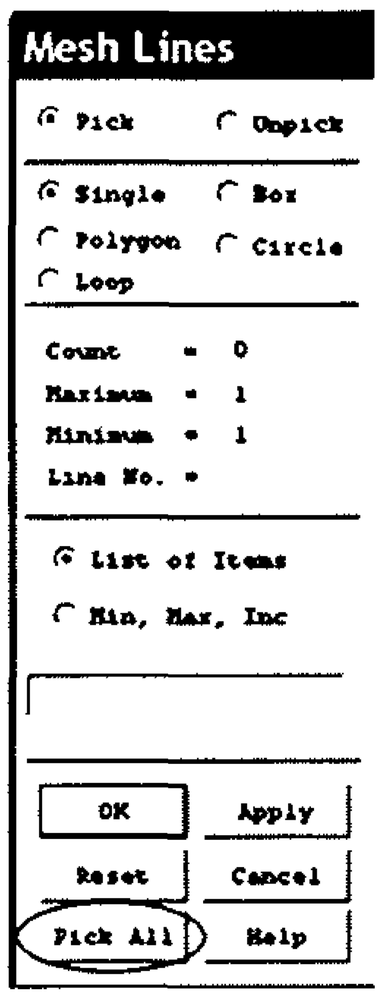
* Định nghĩa kích thước lưới: Prep > Meshing > Size Cntrls > Manual Size > Lines > All Lines > Xuất hiện bảng Element Sizes on All Selected Lines như ở hình 2.11 > Nhập số đoạn chia phần tử NDIV = 1 > OK.



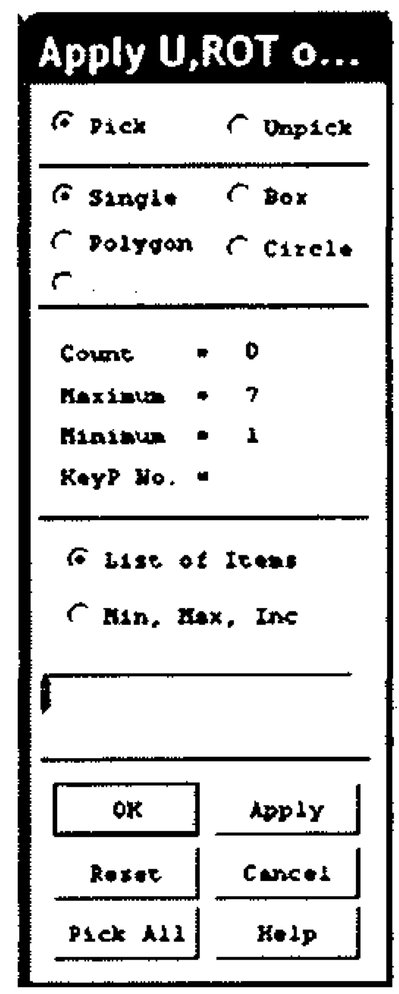
Hình 2.11. *Định nghĩa kích thước phần tử*

* Chia lưới phần tử: Từ Prep > Meshing > Mesh > Lines > Xuất hiện bảng Mesh Lines như ở hình 2.12 > Nhấn vào nút Pick All ở hình này.

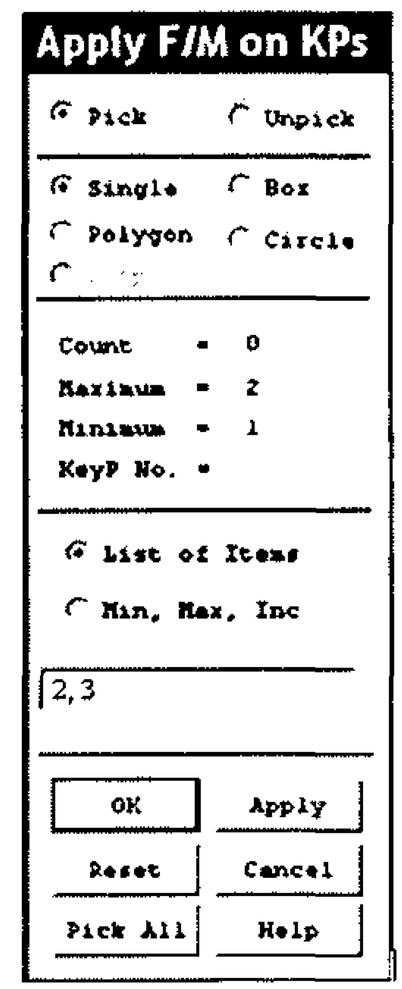
* Định nghĩa kiểu phân tích: Solution > Analysis Type > New Analysis > Xuất hiện bảng New Analysis > Chọn ⊙ Static > OK.



Hình 2.12

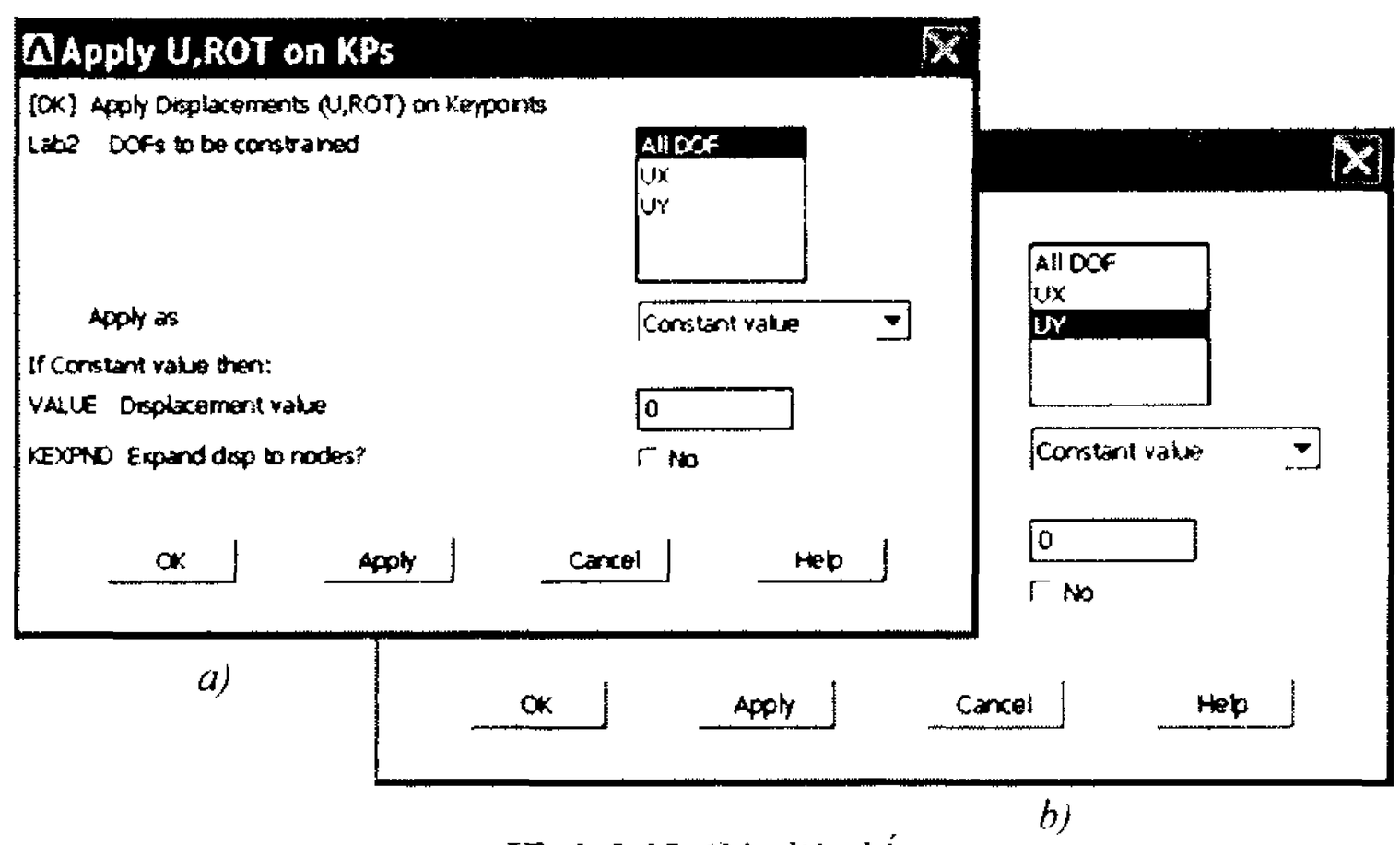


Hình 2.13



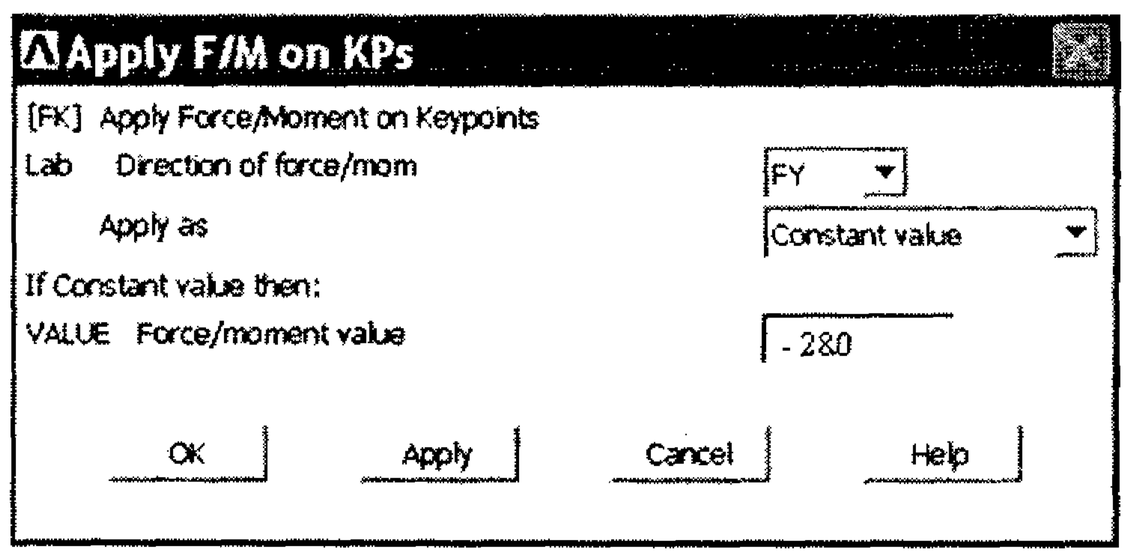
Hình 2.14

* Gán liên kết: Solution > Define Loads > Apply > Displacement > On Keypoints > Xuất hiện bảng Apply U, ROT > Dùng chuột chọn điểm 1 > Apply ở hình 2.13 > Xuất hiện bảng Apply U, ROT on KPs như ở hình 2.15a > Chọn All DOF > Nhập giá trị chuyển vị VALUE = 0 ở hình 2.15a > Apply > Tiếp đến nhấn chuột vào nút 4 và chọn UY > Nhập giá trị chuyển vị VALUE = 0 như ở hình 2.15b > OK.



Hình 2.15. Gán liên kết

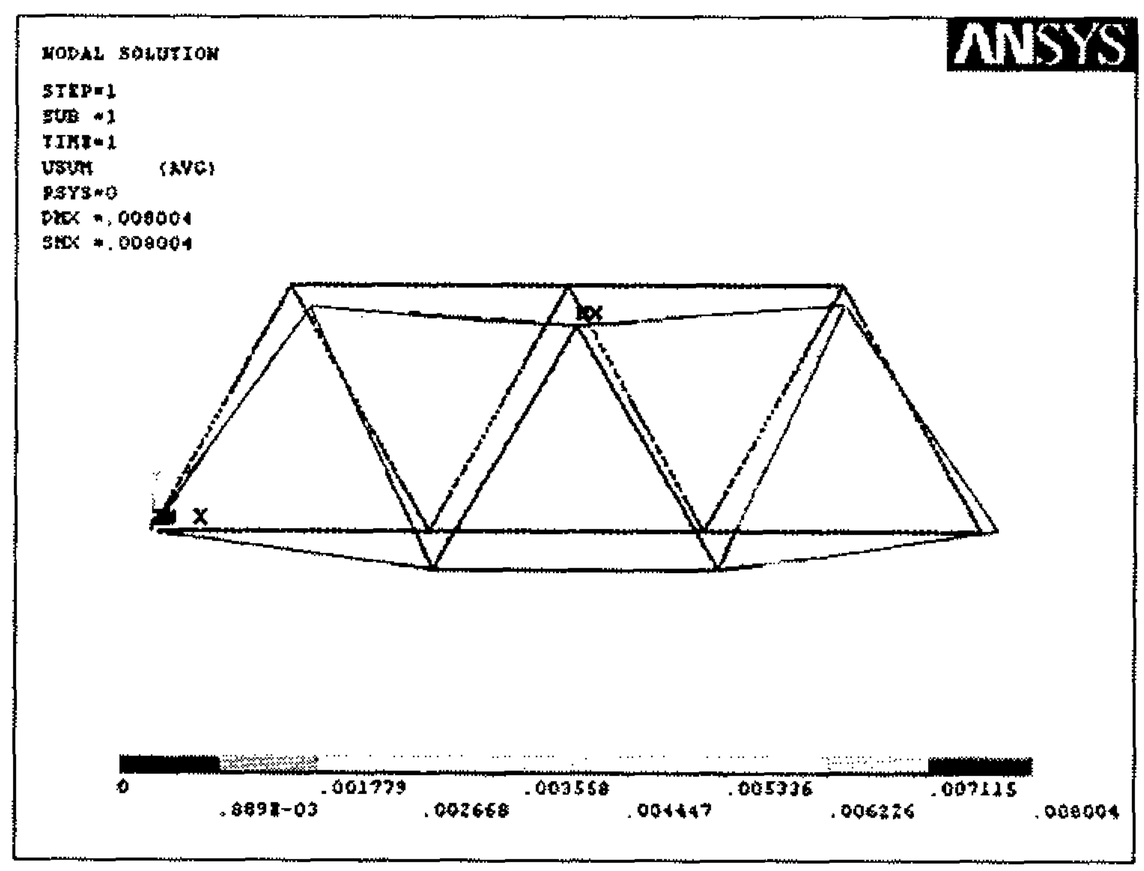
* Gán tải trọng vào giàn: Solution > Structural > Force/Moment > Nhấn chuột vào điểm 2 và 3 hoặc nhập 2, 3 vào bảng Apply F/M on KPs như ở hình 2.14 > OK > Xuất hiện bảng Apply F/M on KPs như ở hình 2.16 > Chọn phương của tải trọng FY, nhập giá trị của lực VALUE = -280 > OK.



Hình 2.16. Gán tải trọng vào giàn

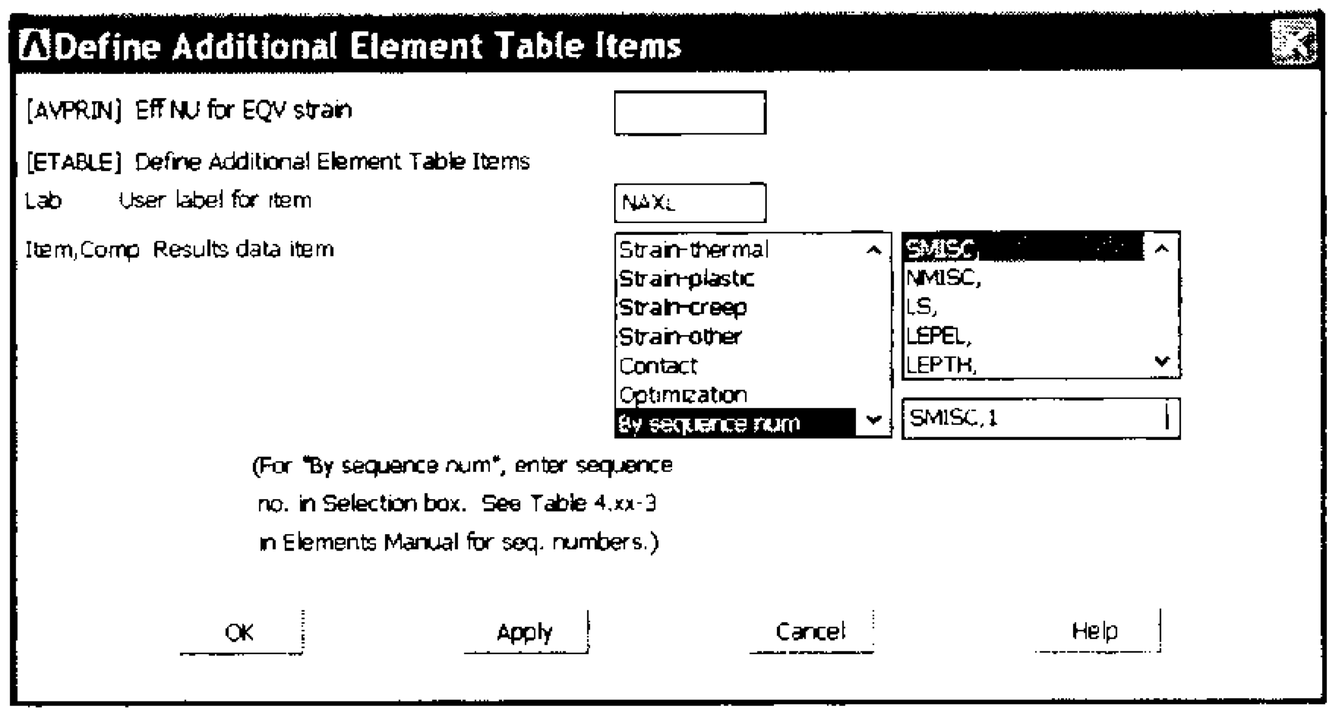
* Chạy chương trình: Solution > Solve > Current LS > Xuất hiện thông báo việc giải đã hoàn thành > Close.

* Độ võng của giàn: General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Nodal Solu > DOF Solution > Displacement Vector SUM > Hình dạng biến dạng giàn cho ở hình 2.17, thông báo phía góc trên bên trái màn hình cho biết chuyển vị tại đỉnh giàn DMX=0.008004m.

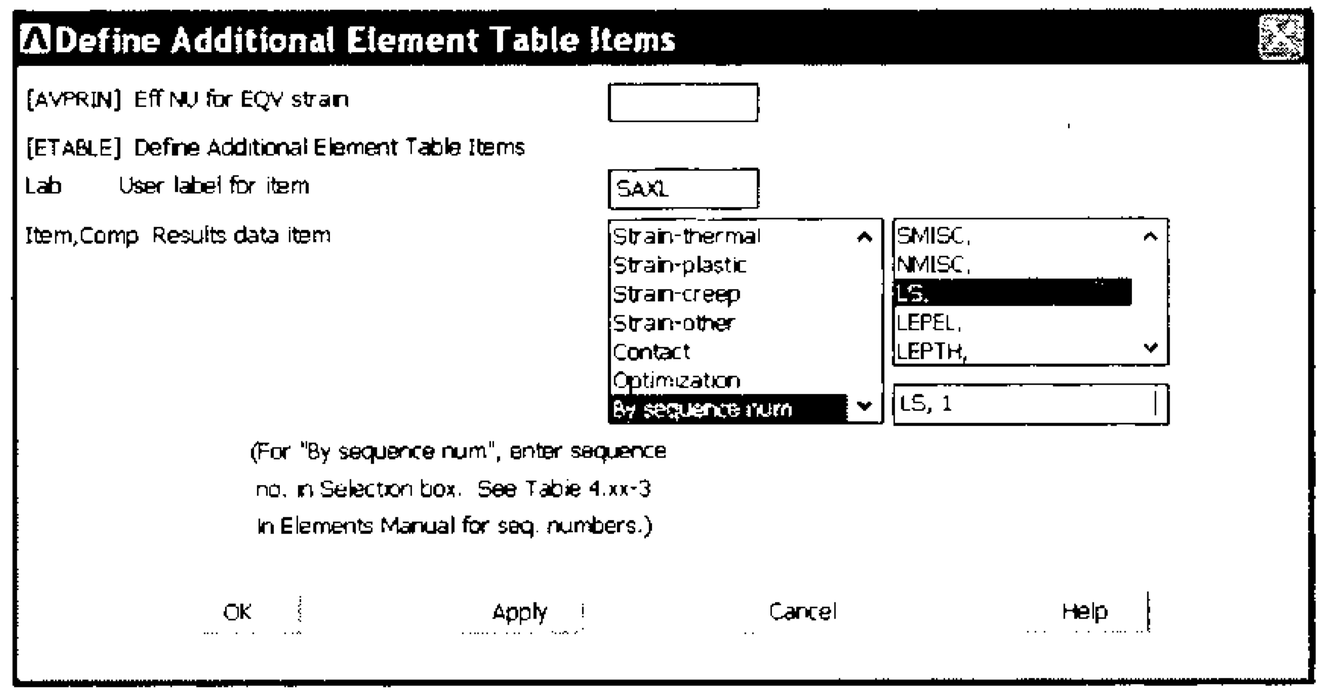


Hình 2.17. Hình dạng biến dạng của giàn

* Nội lực và ứng suất trong các thanh giàn: Đặt lệnh xuất lực dọc và ứng suất: General Postprocessor > Element Table > Define Table > Xuất hiện bảng Define Additional Element Table Items như ở hình 2.18 > Đặt NAXL ở cửa nhỏ bên trái (Lab) và SMISC,1 ở cửa sổ nhỏ bên phải (Item Comp) > Apply. Tương tự với ứng suất đặt SAXL ở cửa nhỏ bên trái (Lab) và SL,1 ở cửa sổ nhỏ bên phải (Item Comp) như ở hình 2.19 > OK.

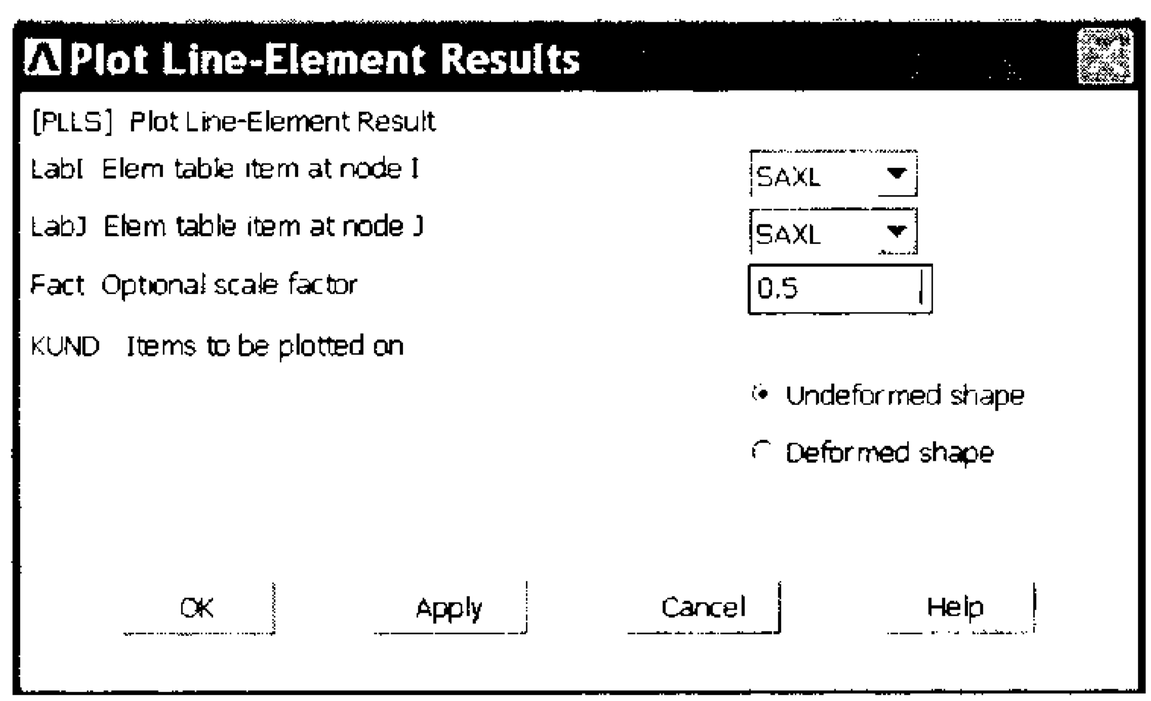


Hình 2.18. Đặt lệnh xuất lực dọc NAXL

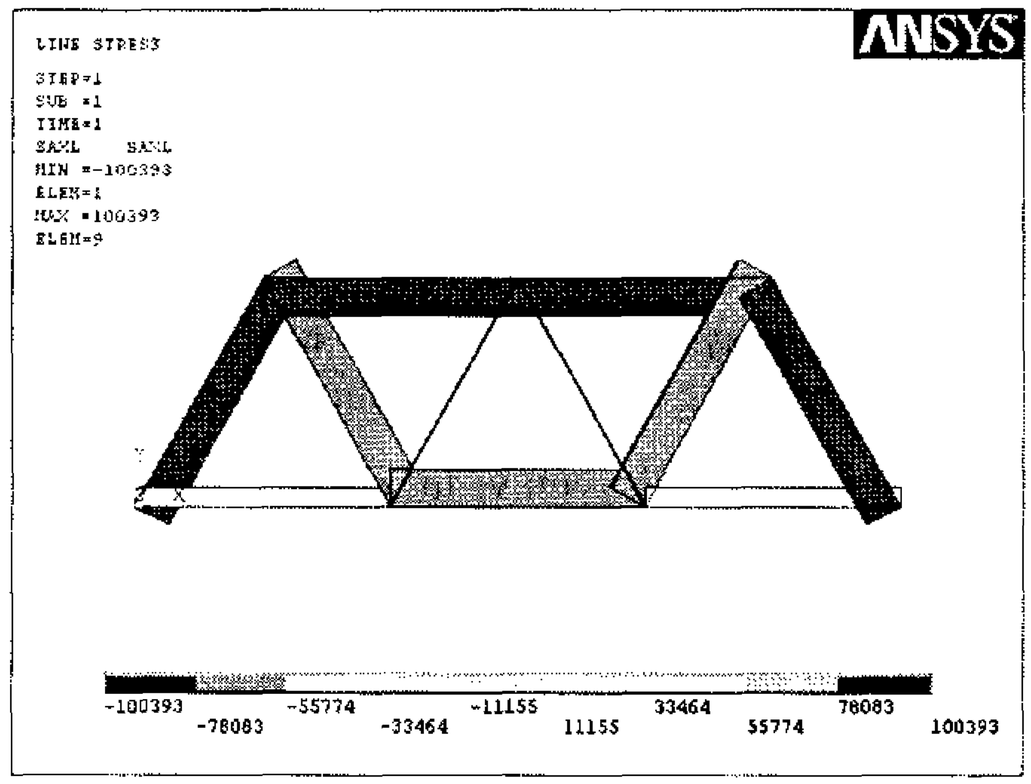


Hình 2.19. Đặt lệnh xuất ứng suất dọc trục SAXL

* Hiển thị biểu đồ ứng suất: General Postprocessor > Plot Result > Contour Plot > Line Element Result > Xuất hiện bảng Plot Line - Element Result > Chọn Lab I là SAXL và Lab J là SAXL > Chọn hệ số tỷ lệ hiển thị Fact = 0.5 như ở hình 2.20 > OK, ta có biểu đồ ứng suất giàn bằng phổ mầu cho ở hình 2.21. Hiển thị biểu đồ lực dọc cũng thực hiện tương tự.

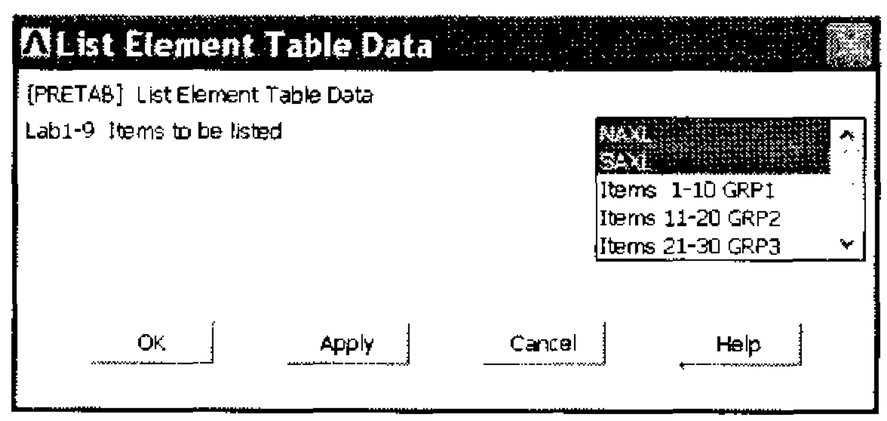


Hình 2.20. Chọn lệnh hiển thị ứng suất



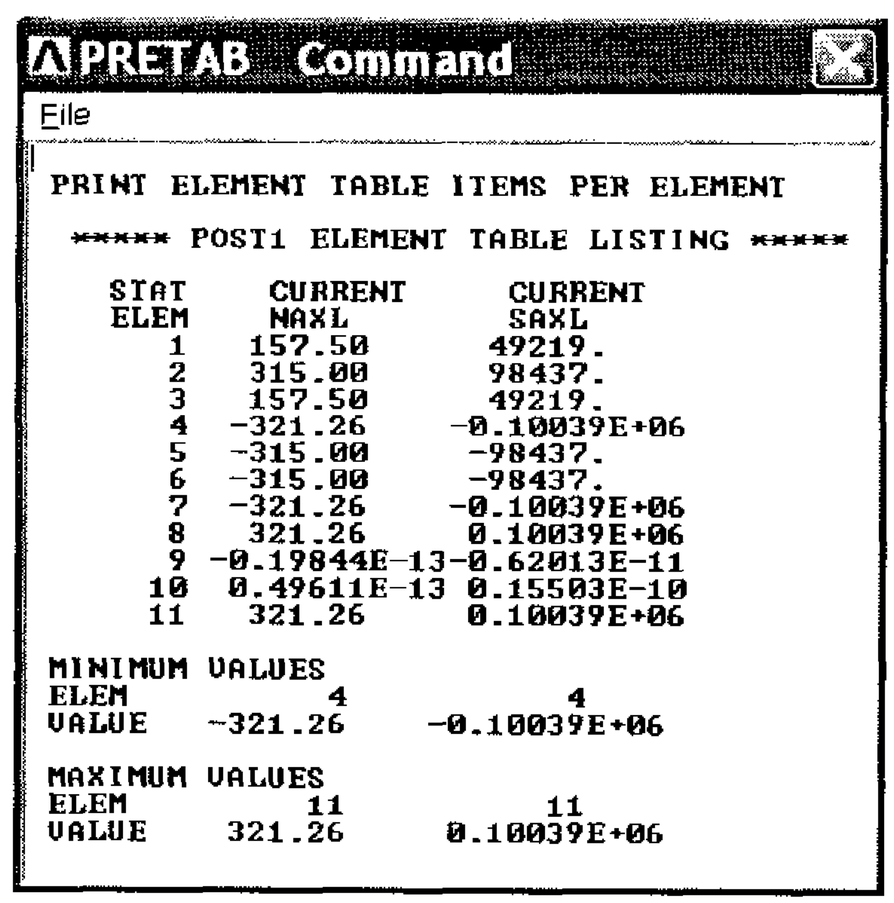
Hình 2.21. Biểu đồ ứng suất giàn bằng phổ mầu

* Xuất bảng liệt kê giá trị lực dọc và ứng suất: General Postprocessor > List Result > Elem Table Data > Xuất hiện bảng List Element Table Data như ở hình 2.22 > Chọn NAXL và SAXL > OK > Xuất hiện bảng PRETAB Command, liệt kê lực dọc và ứng suất của các thanh giàn cho ở bảng 2.5.



Hình 2.22. Lệnh xuất giá trị lực dọc và ứng suất

Bảng 2.5. Nội lực và ứng suất các thanh giàn



PRETAB Command

File

PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT

***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING *****

STAT ELEM	CURRENT NAXL	CURRENT SAXL
1	157.50	49219.
2	315.00	98437.
3	157.50	49219.
4	-321.26	-0.10039E+06
5	-315.00	-98437.
6	-315.00	-98437.
7	-321.26	-0.10039E+06
8	321.26	0.10039E+06
9	-0.19844E-13	-0.62013E-11
10	0.49611E-13	0.15503E-10
11	321.26	0.10039E+06

MINIMUM VALUES		
ELEM	4	4
VALUE	-321.26	-0.10039E+06

MAXIMUM VALUES		
ELEM	11	11
VALUE	321.26	0.10039E+06

Từ bảng 2.5 cho biết lực dọc lớn nhất tại phần tử 11 có NAXL=321.26kN và nhỏ nhất tại phần tử 4 có NAXL=-321.26kN.

* Xuất bảng liệt kê giá trị chuyển vị nút: General Postprocessor > List Result > Nodal Solution > DOF Solution > Displacement Vector SUM > OK > Xuất hiện bảng PRNSOL Command liệt kê chuyển vị nút UX, UY, USUM tại các nút giàn cho ở bảng 2.6. Từ bảng này cho biết chuyển vị toàn phần lớn nhất tại nút 6 có USUM = 0.0080044m và chuyển vị đứng có giá trị lớn nhất cũng tại nút 6 có UY = -0.0078245m.

Bảng 2.6. Chuyển vị tại các nút giàn

PRNSOL Command

```
PRINT U    NODAL SOLUTION PER NODE

 ***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

 LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
  TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0

  THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL
COORDINATE SYSTEM

    NODE      UX          UY          UZ          USUM
       1   0.0000      0.0000      0.0000      0.0000
       2  0.84375E-03-0.73499E-02  0.0000     0.73982E-02
       3  0.25312E-02-0.73499E-02  0.0000     0.77736E-02
       4  0.33750E-02  0.0000      0.0000     0.33750E-02
       5  0.33750E-02-0.39123E-02  0.0000     0.51669E-02
       6  0.16875E-02-0.78245E-02  0.0000     0.80044E-02
       7 -0.10842E-17-0.39123E-02  0.0000     0.39123E-02

 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES
 NODE          4           6           0           6
 VALUE   0.33750E-02-0.78245E-02  0.0000     0.80044E-02
```

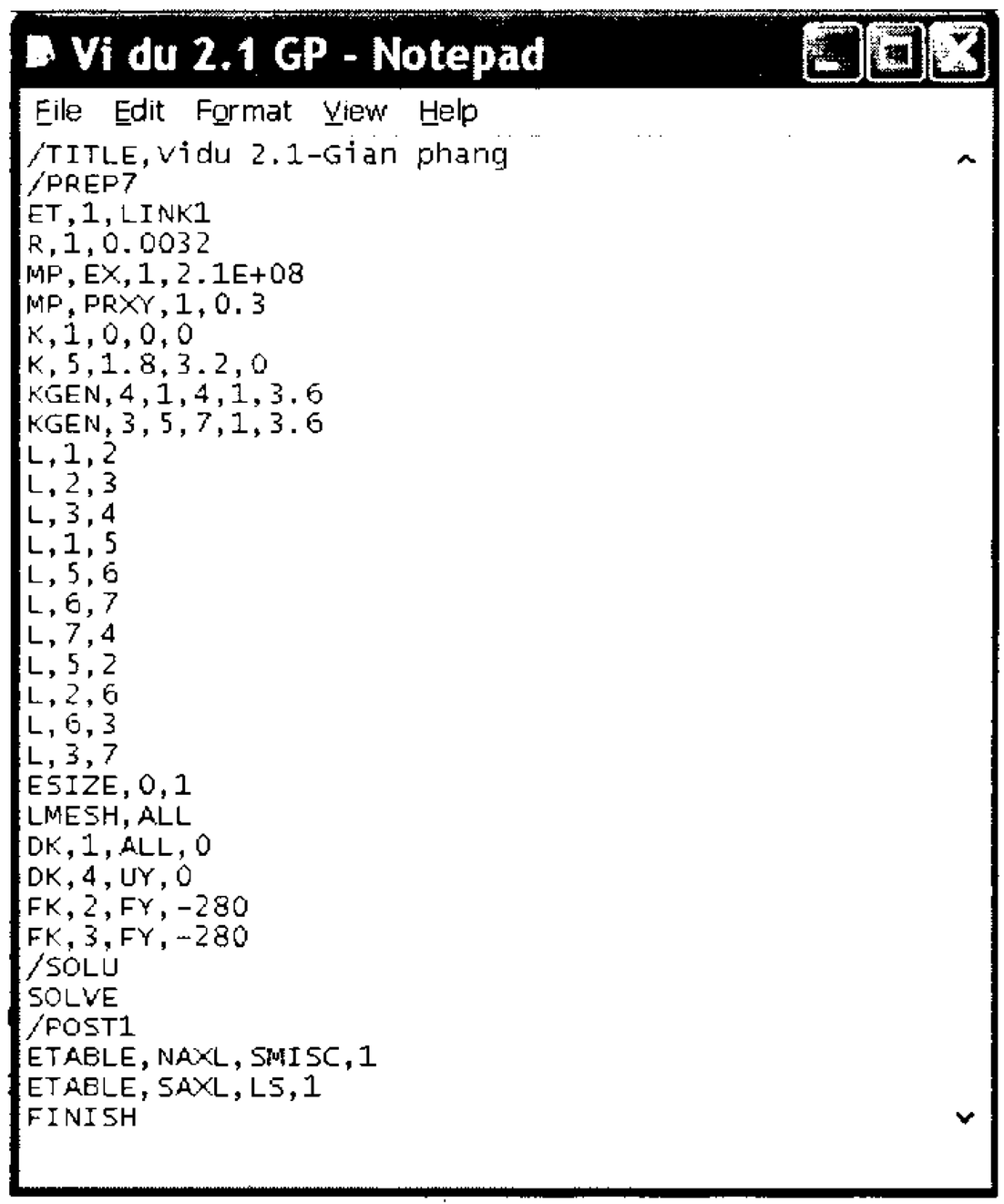
2. Phương thức COMMAND

```
/TITLE, Vidu 2.1-Gian phang
/PREP7
ET, 1,LINK1
R,1,0.0032
MP,EX,1,2.1E+08
MP,PRXY,1,0.3
K,1,0,0,0
K,5,1.8,3.2,0
KGEN,4,1,4,1,3.6   !Copy điểm 1 với SL 4 từ 1 đến 4 cách nhau 3.6.
KGEN,3,5,7,1,3.6   !Copy điểm 5 với SL 3 từ 5 đến 7 cách nhau 3.6
L,1,2
L,2,3
L,3,4
L,1,5
L,5,6
L,6,7
L,7,4
L,5,2
L,2,6
```

```
L,6,3
L,3,7
ESIZE,0,1        !Mỗi thanh là một phần tử
LMESH, ALL
DK,1,ALL,0
DK,4,UY,0
FK,2,FY,-280
FK,3,FY,-280
/SOLU
SOLVE
/POST1
ETABLE,NAXL,SMISC,1
ETABLE,SAXL,LS, 1
FINISH
```

3. Phương thức APDL

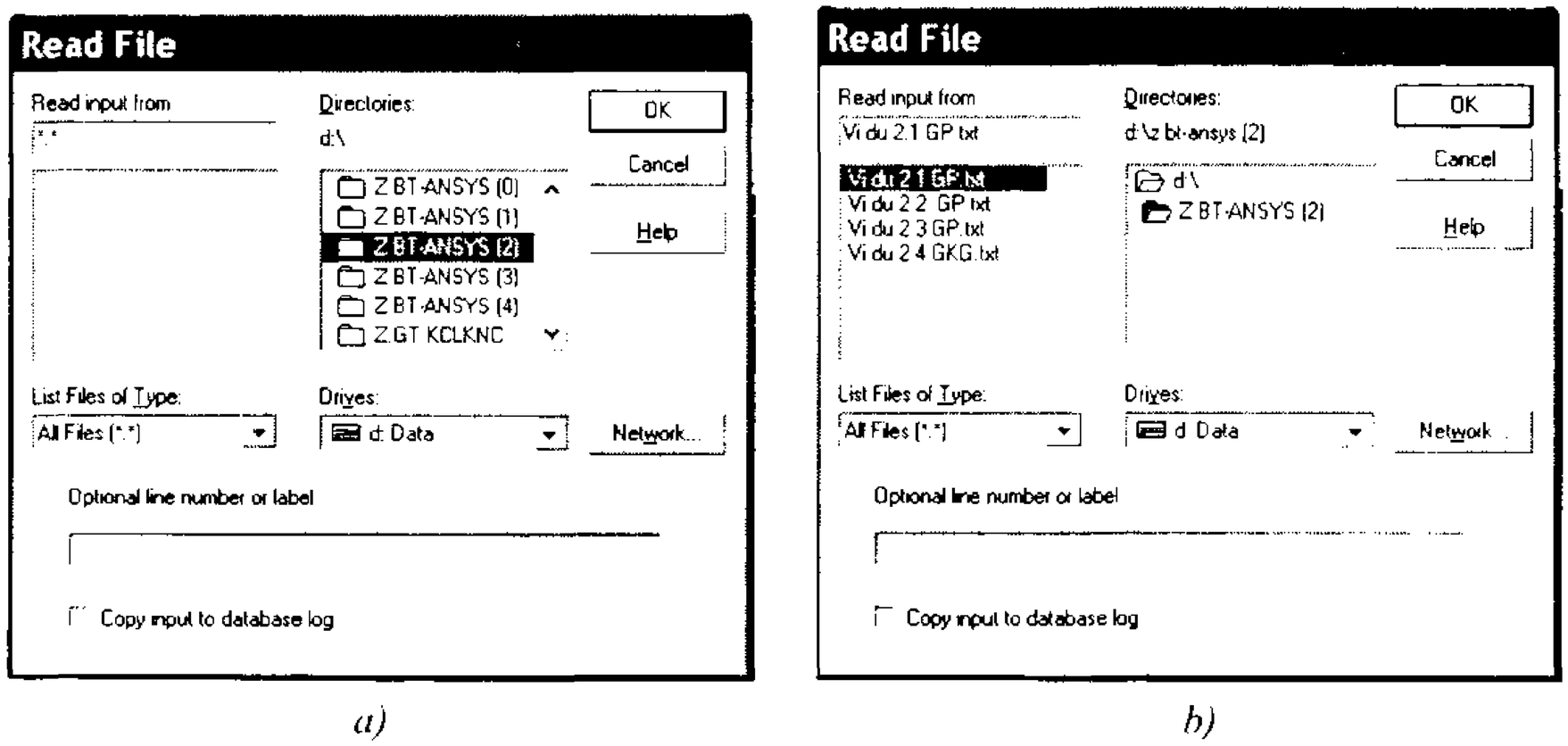
Copy toàn bộ câu lệnh ở trên được soạn thảo trong Word vào phần mềm Notepad có tên file là Vidu 2.1-GP.txt như ở hình 2.23 và được lưu trong ổ D:\ Thư mục Z.BT-ANSYS (2) với đường dẫn: D\ > Z.BT-ANSYS (2) > Vidu 2.1 - GP.



Hình 2.23. *Ngôn ngữ lập trình tham số hóa APDL của Ví dụ 2.1*

Khởi động phần mềm ANSYS, nhấn chuột vào biểu tượng > Xuất hiện bảng New Analysis > Nhập Vidu 2.1- Gian phang ở cửa sổ nhỏ Analysis Jobname > OK. Tiếp đến nhấn File > Read Input from... > Xuất hiện bảng Read File > Nhấn chuột vào D:\ Chọn thư mục Z.BT-ANSYS (2) ở cửa sổ phải như ở hình 2.24a > Chọn file Vidu 2.1-GP.txt ở cửa sổ trái như ở hình 2.24b > Nhấn OK > File dữ liệu của Ví dụ 2.1 sẽ được đưa vào phần mềm ANSYS.

Sau khi nhấn OK dữ liệu tính toán sẽ được chuyển vào ANSYS và chương trình sẽ chạy cho đến khi có thông báo Solution is done > Close. Khai thác các kết quả tính toán như biểu đồ lực dọc, biểu đồ ứng suất và các thông tin khác tương tự như trong Vidu 2.1-Gian phang theo phương thức GUI.

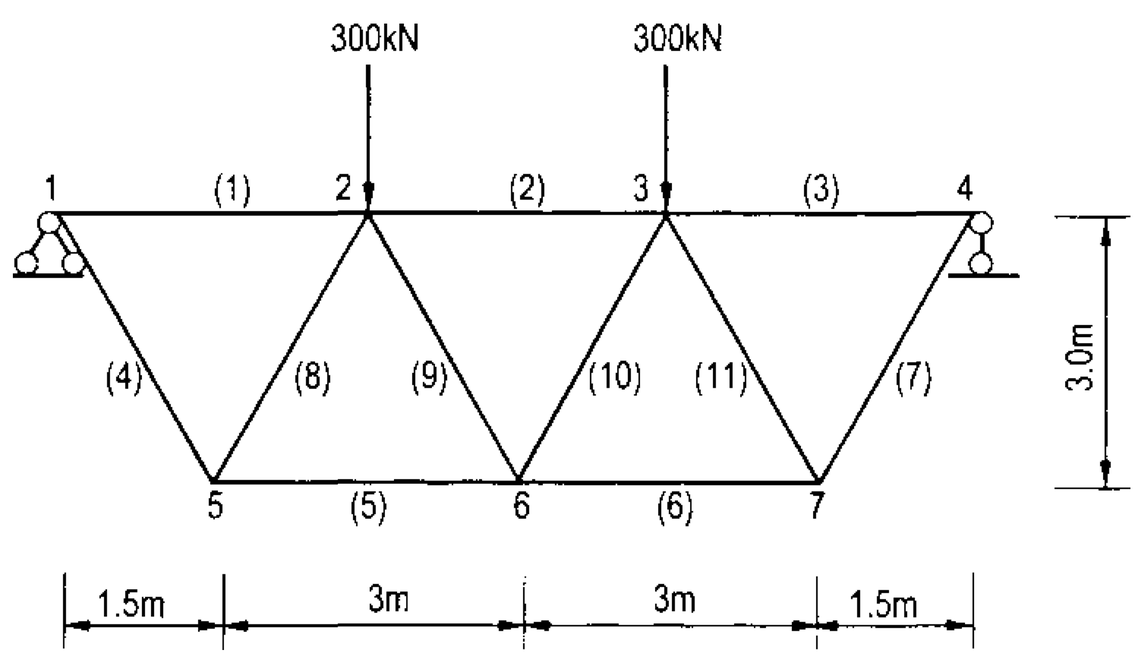


a) *b)*

Hình 2.24. *Chọn file Vidu 2.1-GP.txt*

• Ví dụ 2.2. Giàn phẳng hình thang ngược

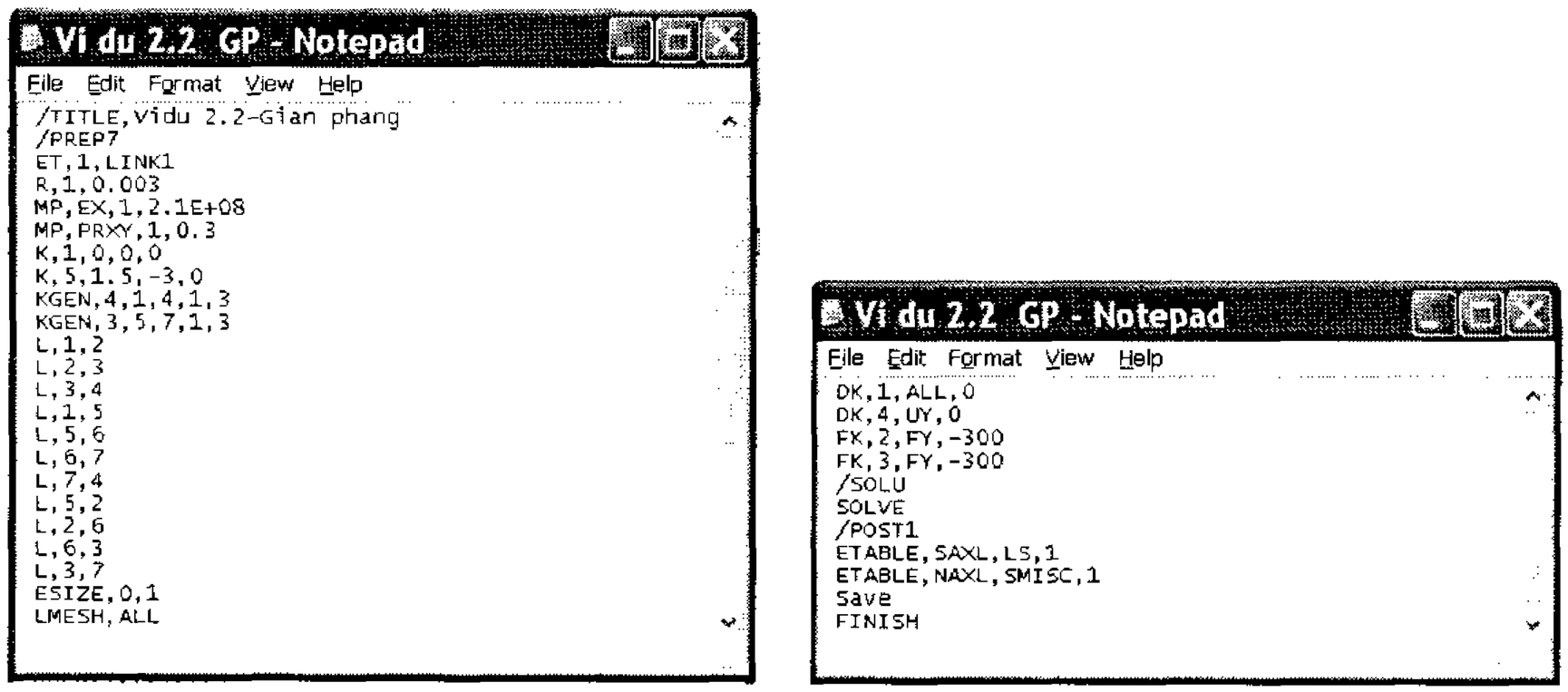
Xác định chuyển vị, lực dọc, ứng suất trong các thanh của giàn phẳng có sơ đồ tính toán như ở hình 2.25. Tiết diện mặt cắt ngang các thanh giàn $A = 0.003m^2$. Vật liệu thép CT3 có $E = 2.1\times10^8 kN/m^2$, $\mu = 0.3$.



Hình 2.25. *Sơ đồ tính toán giàn*

Kết cấu giàn cho ở Ví dụ 2.2 có dạng hơi khác giàn ở Ví dụ 2.1 là các điểm nút 5, 6, 7 nằm ở phía âm của trục Y, nên cách giải nhanh nhất là dùng phương thức APDL.

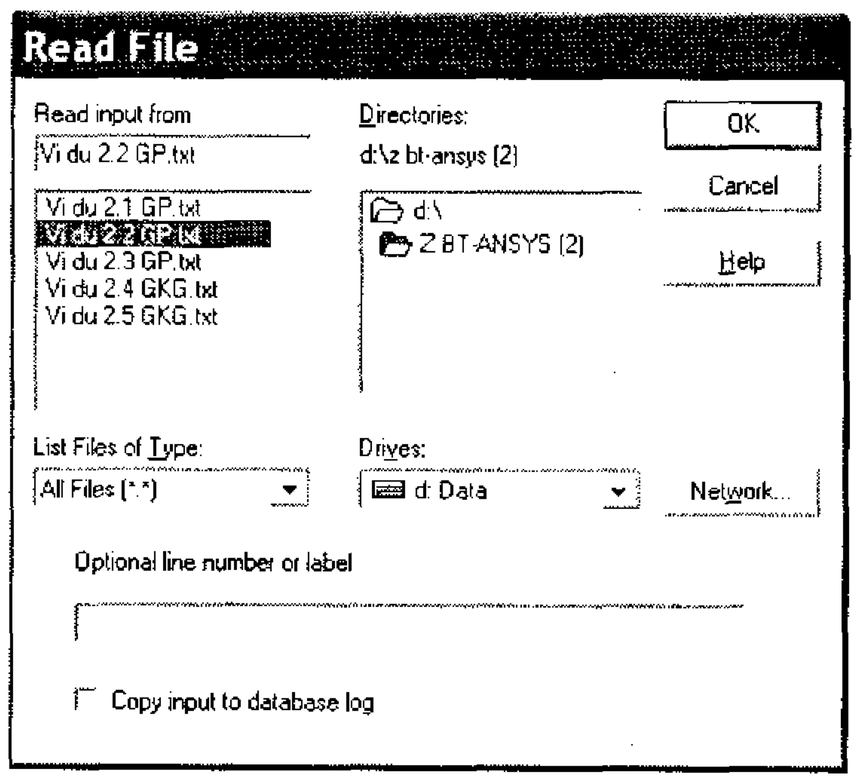
START > Notepad > File > Open > Chọn file Vi du 2.1 GP > Open > Save as > Vidu 2.2 GP > OK. Ta có file Vi du 2.2 GP - Notepad, sửa tọa độ các điểm nút và các số liệu khác cho phù hợp với giàn mới như ở hình 2.26 > File > Save với đường dẫn: D > Z.BT ANSYS (2) > Vidu 2.2 GP.txt.



Hình 2.26. *Ngôn ngữ lập trình APDL của giàn ở Ví dụ 2.2*

Khởi động phần mềm ANSYS, nhấn chuột vào biểu tượng > Xuất hiện bảng New Analysis > Nhập Vi du 2.2 GP trong cửa sổ nhỏ ở Analysis Jobname > Nhấn OK.

Từ màn hình ANSYS > Menu File > Read Input from… > Xuất hiện bảng Read File > Vào ổ D:\ Nháy đúp chuột vào thư mục Z BT-ANSYS(2) > Chọn file Vi du 2.2 GP.txt ở cửa sổ trái như ở hình 2.27.

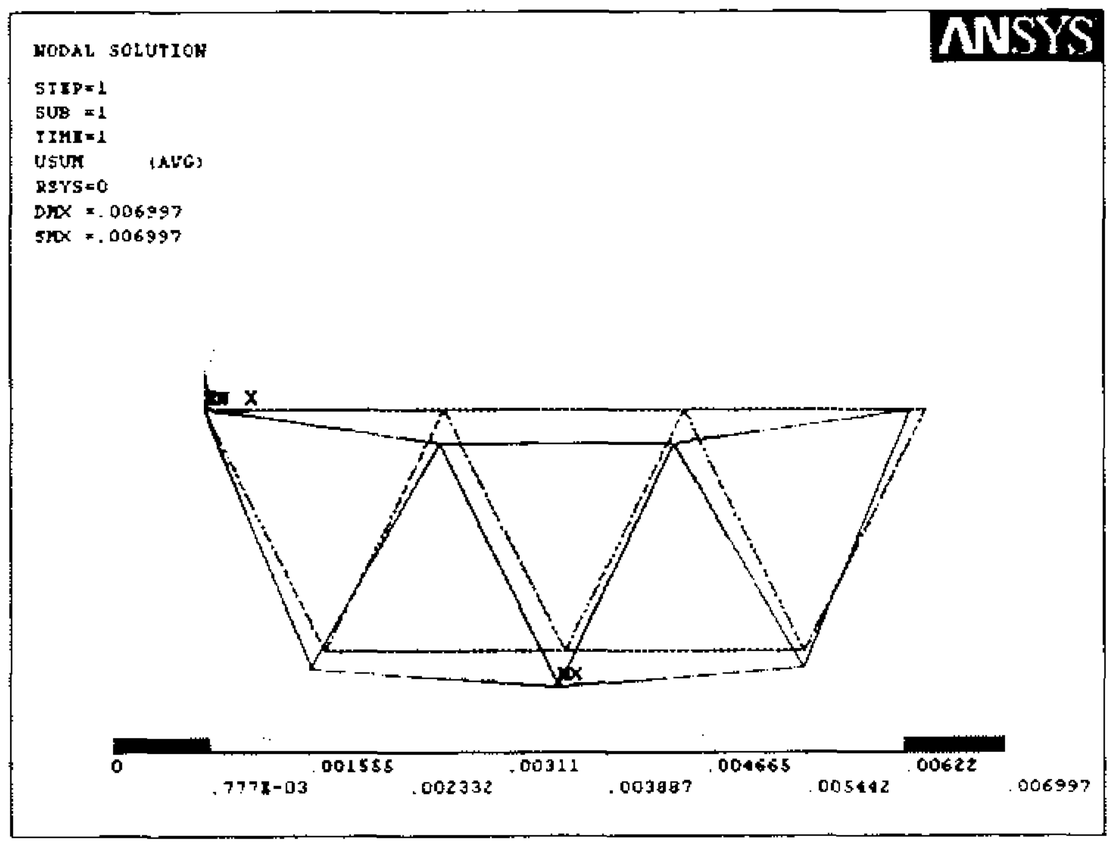


Hình 2.27. *Đọc file Vidu 2.2-GP.txt vào ANSYS*

Nhấn OK > File dữ liệu của Ví dụ 2.2 GP đã được đưa vào phần mềm ANSYS và chương trình sẽ chạy, cho đến khi có thông báo công việc tính toán giàn đã hoàn thành

> Nhấn Close và khai thác kết quả tính toán giàn về chuyển vị, nội lực tương tự như ở Ví dụ 2.1 theo phương thức GUI.

Chuyển vị: General Postproc > Plot Result > Contour Plot > Nodal Solution > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data > DOF Solution > Displacement Vector SUM > Ta có biểu đồ chuyển vị của giàn như ở hình 2.28. Từ phía trên góc trái của biểu đồ chuyển vị cho biết chuyển vị lớn nhất của giàn tại nút 4 bằng DMX = 0.006997m.



Hình 2.28. Biểu đồ chuyển vị của giàn

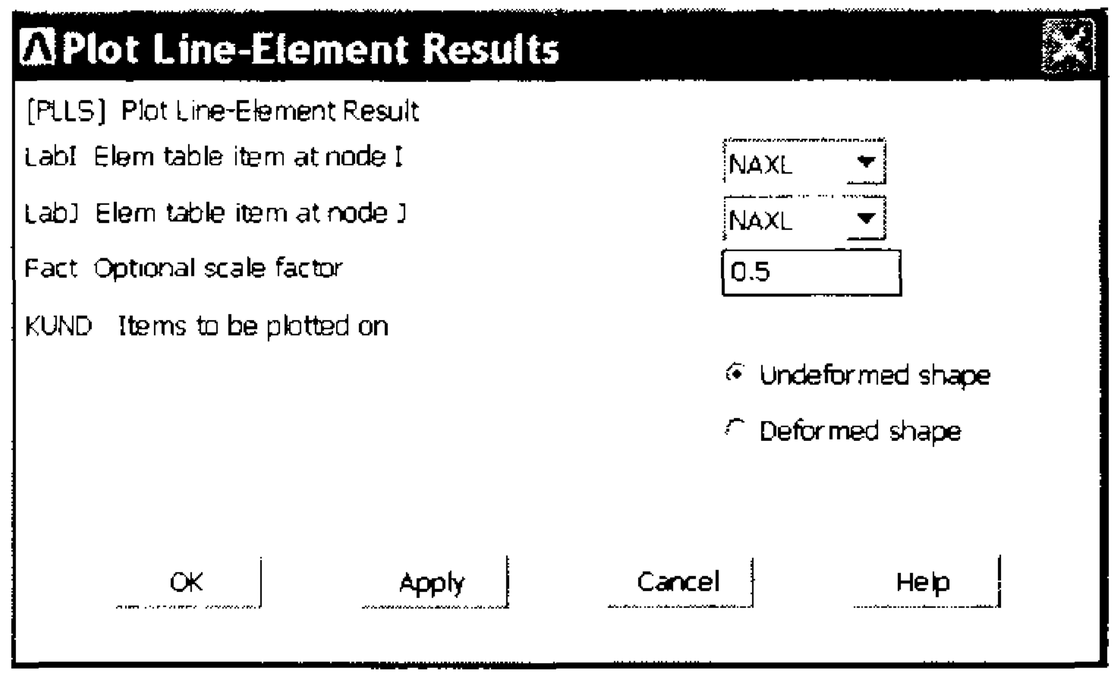
Giá trị chuyển vị tại các nút giàn được liệt kê qua lệnh sau General Postproc > List Result > Nodal Solution > DOF Solution > Displacement Vector USUM > OK > Ta có bảng 2.7 liệt kê chuyển vị nút của giàn.

Bảng 2.7. Chuyển vị tại các nút của giàn

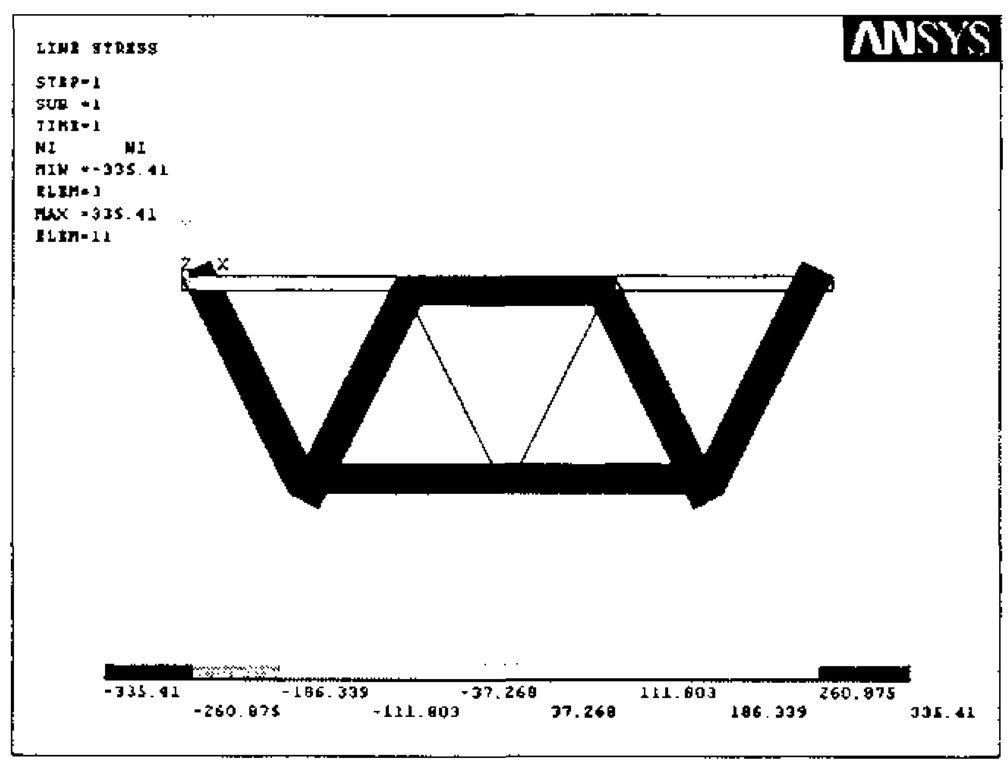
```
PRNSOL  Command
File

PRINT U    NODAL SOLUTION PER NODE

  ***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

 LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
  TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0

 THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

   NODE       UX           UY           UZ           USUM
      1    0.0000       0.0000       0.0000       0.0000
      2 -0.28571E-02-0.34251E-02  0.0000      0.44603E-02
      3 -0.71429E-03-0.64930E-02  0.0000      0.65321E-02
      4 -0.14286E-02-0.68501E-02  0.0000      0.69975E-02
      5 -0.21429E-02-0.64930E-02  0.0000      0.68374E-02
      6 -0.86736E-18-0.34251E-02  0.0000      0.34251E-02
      7 -0.28571E-02  0.0000      0.0000      0.28571E-02

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES
NODE          7            4            0            4
VALUE  -0.28571E-02-0.68501E-02  0.0000      0.69975E-02
```

Nội lực và ứng suất trong các thanh giàn

Xuất biểu đồ lực dọc qua lệnh sau: General Postproc > Plot Result > Contour Plot > Line Element Result > Xuất hiện bảng Plot Line-Element Result > Chọn LabI=NAXL và LabJ=NAXL > như ở hình 2.29 > OK > Ta có biểu đồ lực dọc của các thanh giàn cho ở hình 2.30. Xuất biểu đồ ứng suất trong các thanh giàn cũng thực hiện tương tự.

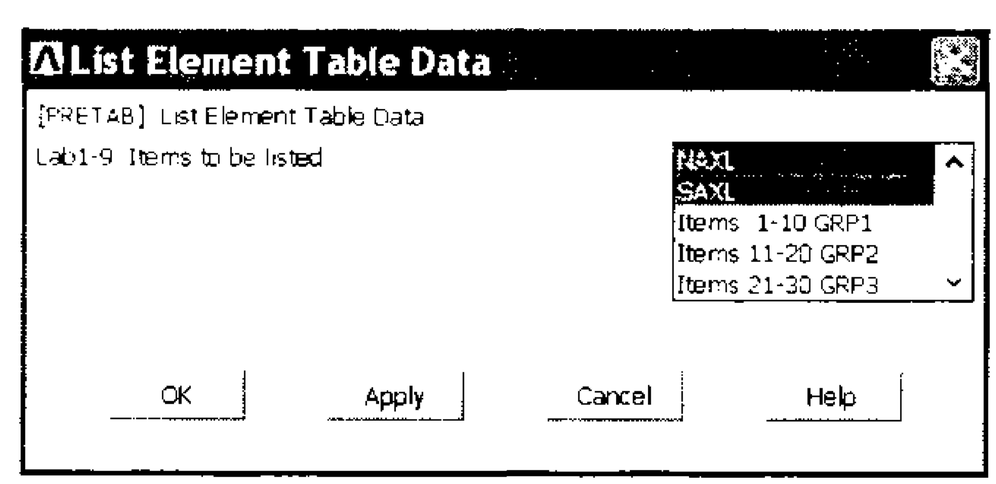


Hình 2.29. *Lệnh xuất biểu đồ lực dọc*



Hình 2.30. *Biểu đồ lực dọc của các thanh giàn*

Xuất giá trị lực dọc và ứng suất như sau: General Postproc > List Result > List Result Data > List Result Table Data như ở hình 2.31 > Chọn NAXL và SAXL > OK.



Hình 2.31. *Lệnh xuất giá trị lực dọc và ứng suất*

Xuất hiện bảng PRETAB Command, liệt kê lực dọc và ứng suất của các thanh giàn cho ở bảng 2.8. Từ bảng này cho biết lực dọc lớn nhất ở thanh giàn 11 có NAXL = 335.41kN và lực dọc nhỏ nhất ở thanh giàn 3 có NAXL = -335.41kN.

Bảng 2.8. Nội lực và ứng suất trong giàn

```
PRETAB  Command
File

PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT

 ***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING *****

   STAT     CURRENT      CURRENT
   ELEM     NAXL         SAXL
      1    335.41      0.11180E+06
      2   -150.00      -50000.
      3   -335.41     -0.11180E+06
      4    300.00      0.10000E+06
      5  -0.20365E-13-0.67882E-11
      6   -300.00     -0.10000E+06
      7  -0.20365E-13-0.67882E-11
      8    300.00      0.10000E+06
      9   -335.41     -0.11180E+06
     10   -150.00      -50000.
     11    335.41      0.11180E+06

MINIMUM VALUES
ELEM          3            3
VALUE    -335.41     -0.11180E+06

MAXIMUM VALUES
ELEM         11           11
VALUE     335.41      0.11180E+06
```

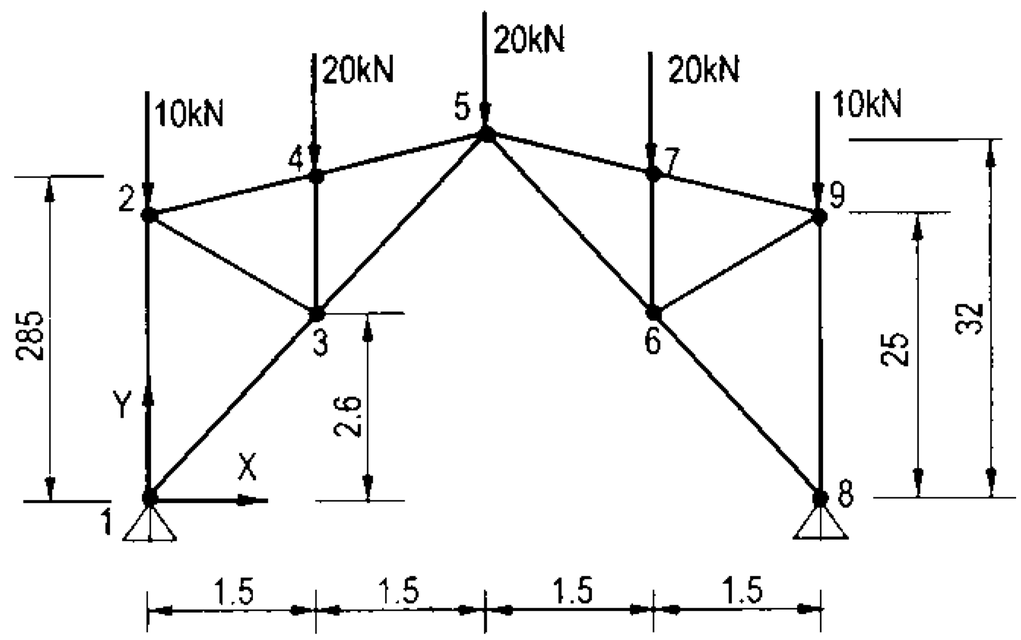
Lệnh xuất bảng liệt kê phản lực liên kết của giàn General Postprocessor > List Result > Reaction Solution > Xuất hiện bảng List Reaction Solution > Chọn All Items > OK > Ta có bảng kết quả tính toán phản lực cho ở bảng 2.9. Từ bảng này cho thấy phản lực liên kết đối xứng và tổng phản lực liên kết FX = 2×300.0 = 600kN bằng tổng tải trọng SP = 600.0kN tác dụng lên giàn.

Bảng 2.9. Phản lực liên kết

```
PRRSOL  Command
File

PRINT REACTION SOLUTIONS PER NODE

 ***** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING *****

 LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
  TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0

 THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN THE GLOBAL
COORDINATE SYSTEM

    NODE       FX           FY
       1  0.22737E-12   300.00
       7                300.00

 TOTAL VALUES
 VALUE   0.22737E-12   600.00
```

- **Ví dụ 2.3. Giàn phẳng hình cổng**

Xác định chuyển vị, lực dọc và ứng suất trong các thanh giàn phẳng có sơ đồ tính toán cho ở hình 2.32. Tiết diện mặt cắt ngang các thanh giàn A = 0.002m^2. Vật liệu thép CT3 có E = 2.1×10^{8}kN/m^2, μ = 0.3.



Hình 2.32. *Sơ đồ tính toán giàn*

1. Thực hiện theo phương thức GUI

* Đặt tên cho bài toán: Từ menu File > Change Title... > Xuất hiện bảng Change Title

Nhập: Vidu 2.3-Gian phang > OK.

* Kết cấu giàn: Chọn hệ đơn vị là kN, m. Trước hết tạo 7 điểm nút từ menu Prep > Modeling > Create > Keypoints > Active CS > Xuất hiện bảng Create Keypoints in Active Coordinate System:

Nhập điểm 1 với tọa độ X=0, Y=0, Z=0 > Apply với hệ đơn vị chọn là kN, m

Nhập điểm 2 với tọa độ X=0, Y=2.5, Z=0 > Apply

Nhập điểm 3 với tọa độ X=1.5 Y=2.6, Z=0 > Apply

Nhập điểm 4 với tọa độ X=1.5 Y=2.85, Z=0 > Apply

Nhập điểm 5 với tọa độ X=3, Y=3.2, Z=0 > Apply

Nhập điểm 6 với tọa độ X=4.5, Y=2.6, Z=0 > Apply

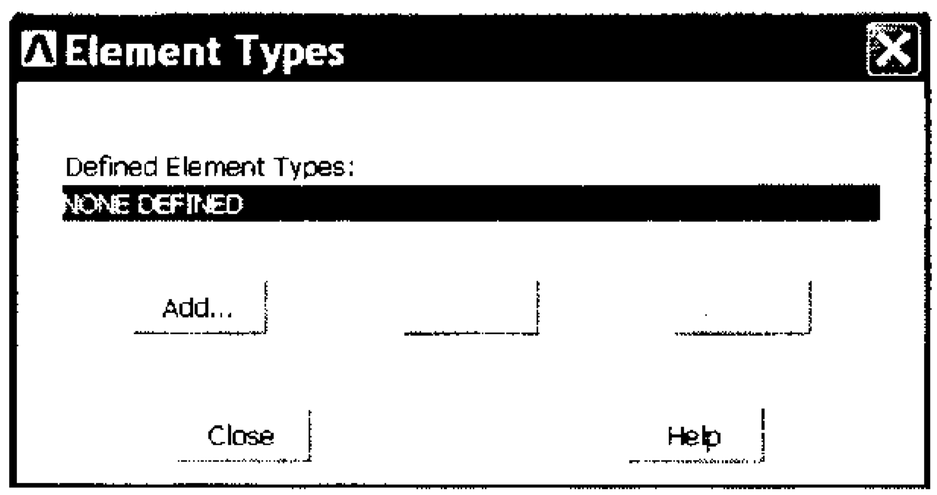
Nhập điểm 7 với tọa độ X=4.5, Y=2.85, Z=0 > Apply

Nhập điểm 8 với tọa độ X=6, Y=0, Z=0 > Apply

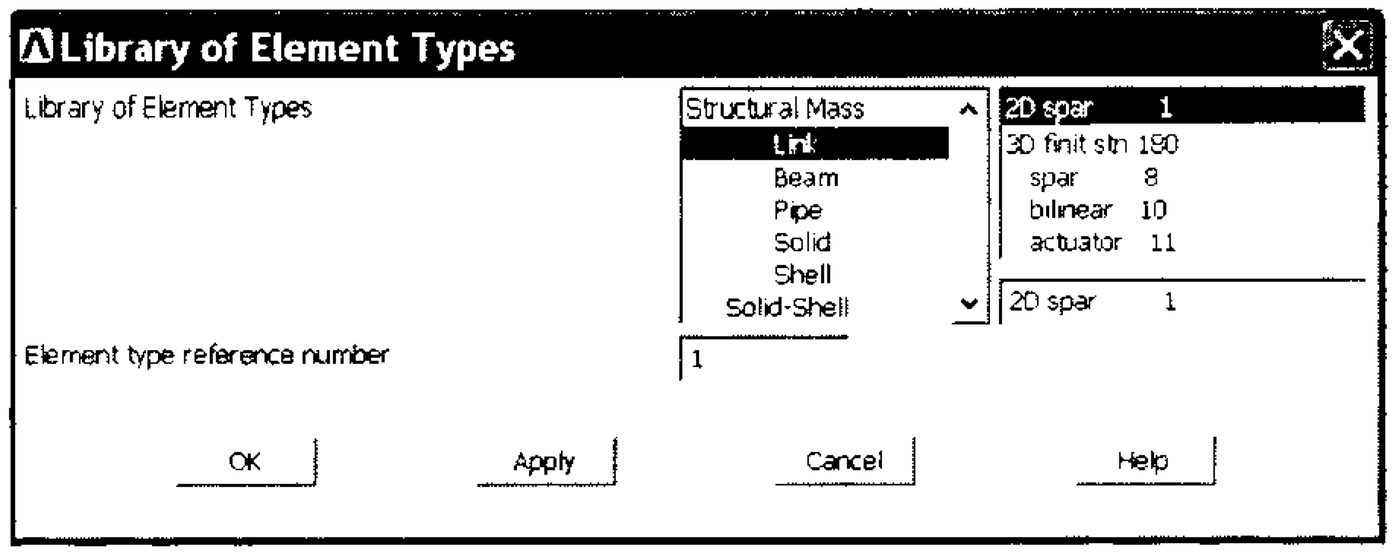
Nhập điểm 9 với tọa độ X=6, Y=2.5, Z=0 > OK

Vẽ các đoạn thanh giàn từ menu Prep > Modeling > Create > Lines > Straight Line > Nhấn chuột lần lượt vào nút 1-2, 1-3,...và 8-9, ta có sơ đồ giàn.

* Định nghĩa loại phần tử: Prep > Element Type > Add/Edit/Delete > Xuất hiện Element Type như ở hình 2.33 > Add > Xuất hiện bảng Library of Element Types như ở hình 2.34 > Chọn Link ở cửa sổ trái > Chọn 2D spar 1 ở cửa sổ phải > OK > Close.

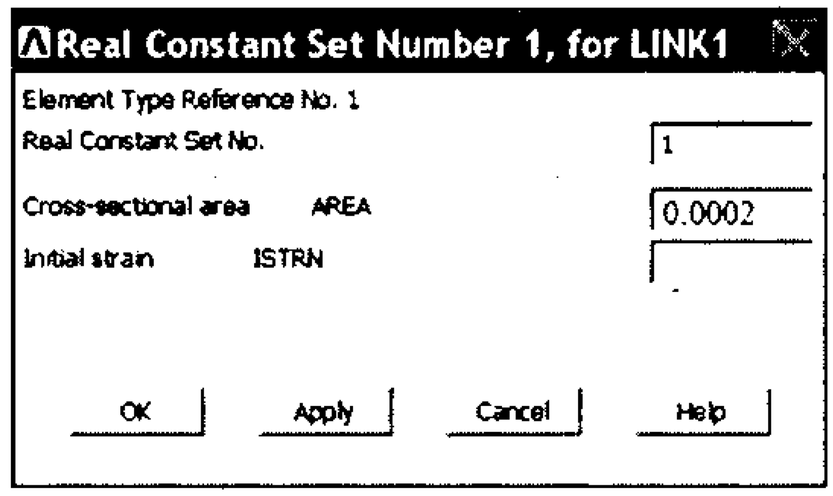


Hình 2.33. *Định nghĩa loại phần tử*



Hình 2.34. *Chọn phần tử Link 2D spar 1*

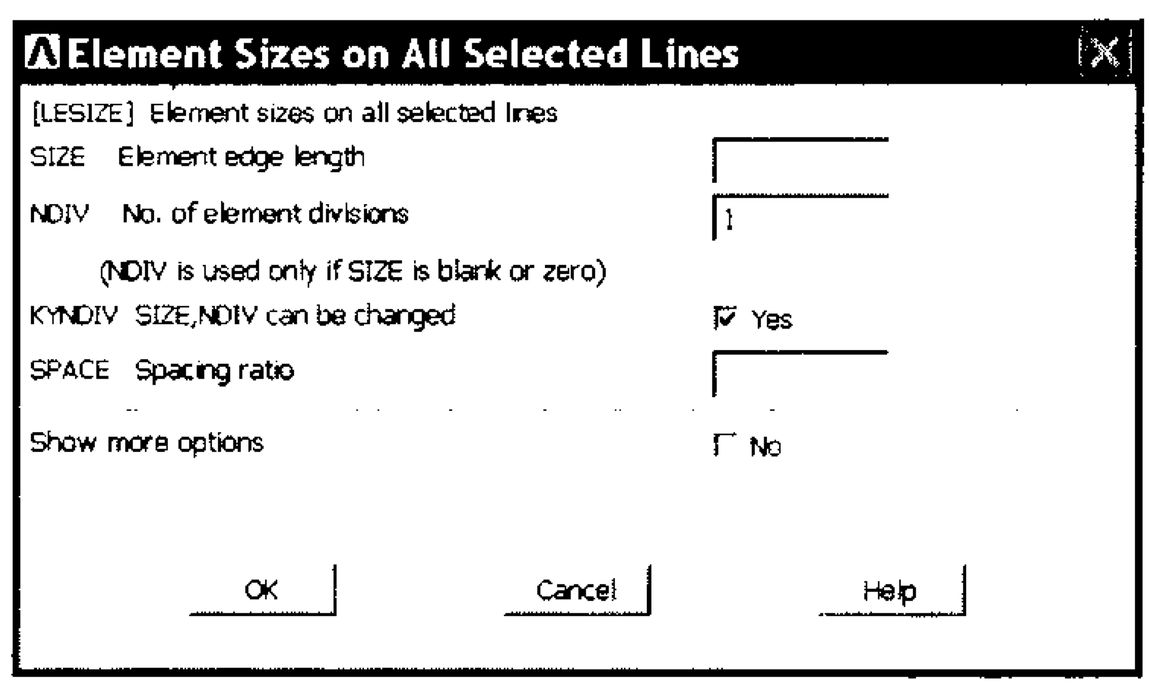
* Định nghĩa đặc trưng hình học của thanh giàn: Từ menu Prep > Real Constants > Add\Edit\Delete > Xuất hiện bảng Real Constant Set Number 1, for 2D spar 1 như ở hình 2.35 và nhập số liệu sau: Diện tích tiết diện AREA = 2E-04 > OK.



Hình 2.35. *Định nghĩa đặc trưng hình học thanh giàn*

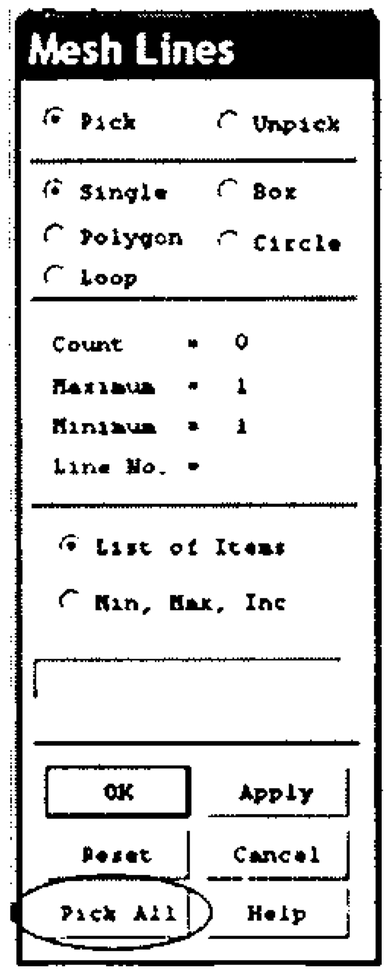
* Định nghĩa thuộc tính của vật liệu: Prep > Material Props > Material Model > Xuất hiện bảng Define Material Model Behavior > Nhấn nút Structural > Linear > Elastic > Isotropic > Xuất hiện bảng Linear Isotropic Properties for Material 1 > Nhập mô đun đàn hồi EX=2.1E8 và hệ số Poisson PRXY=0.3 > Material > Exit.

* Định nghĩa kích thước lưới: Prep > Meshing > Size Cntrls > Manual Size > Lines > All Lines > Xuất hiện bảng Element Sizes on All Selected Lines > Nhập NDIV=1 như ở hình 2.36 > OK.

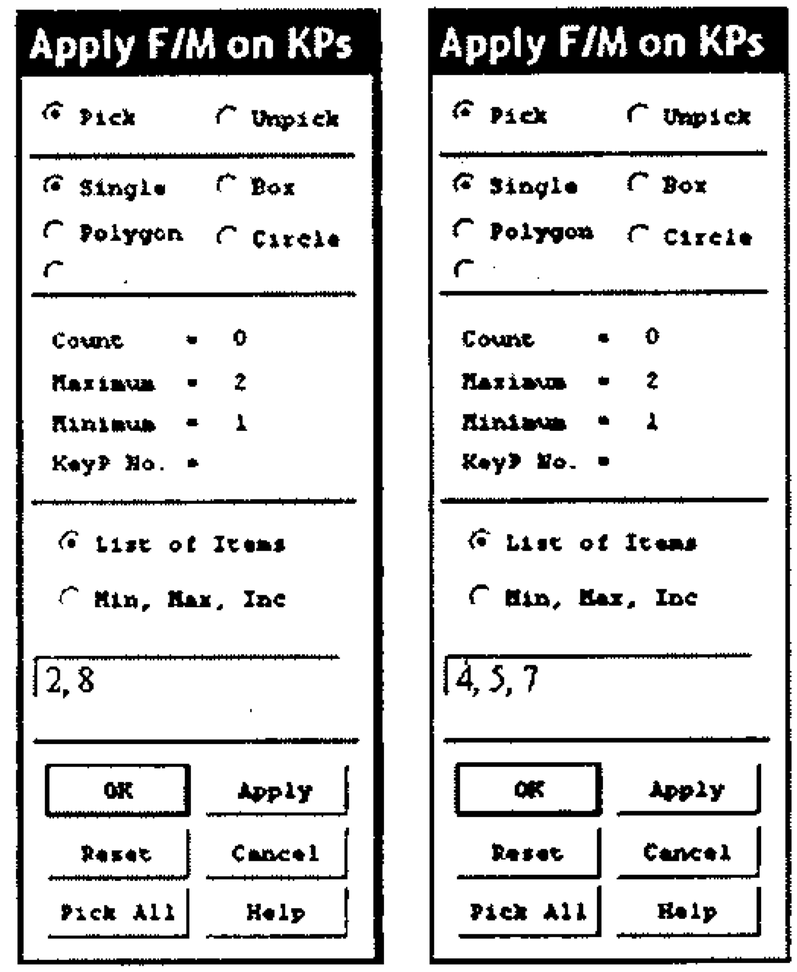


Hình 2.36. *Định nghĩa kích thước phần tử*

* Chia lưới phần tử: Prep > Meshing > Mesh > Lines > Xuất hiện bảng Mesh Lines như ở hình 2.37 > Nhấn vào nút Pick All.



Hình 2.37

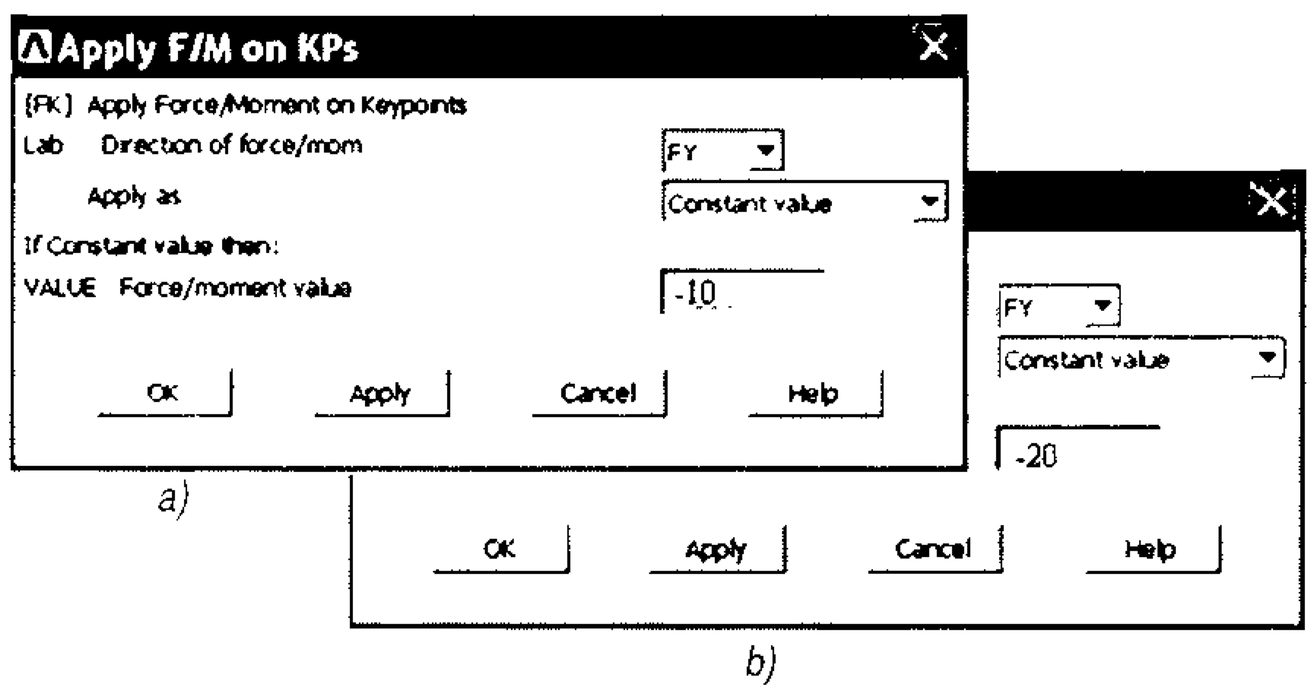


Hình 2.38

* Định nghĩa kiểu phân tích: Solution > Analysis Type > Xuất hiện bảng New Analysis > New Analysis > Chọn ⊙ Static > OK.

* Gán liên kết: Solution > Define Loads > Apply > Displacement > On Keypoints > Chọn điểm 1 và 8 > OK > Apply U, ROT on KPs > Chọn All DOF > VALUE = 0 > OK.

* Gán tải trọng vào giàn: Solution > Structural > Force/Moment > Nhấn chuột vào điểm 2 và 8 hoặc nhập 2, 8 vào bảng Apply F/M on KPs như ở hình 2.38a > OK > Apply F/M on KPs > Chọn FY, nhập giá trị VALUE = -10 như ở hình 2.39a > Apply, tiếp tục nhấn chuột vào các nút 4, 5 và 7 hoặc nhập 4,5,7 vào bảng Apply F/M on KPs như ở hình 2.38b, nhập VALUE=-20 như ở hình 2.39b > OK.

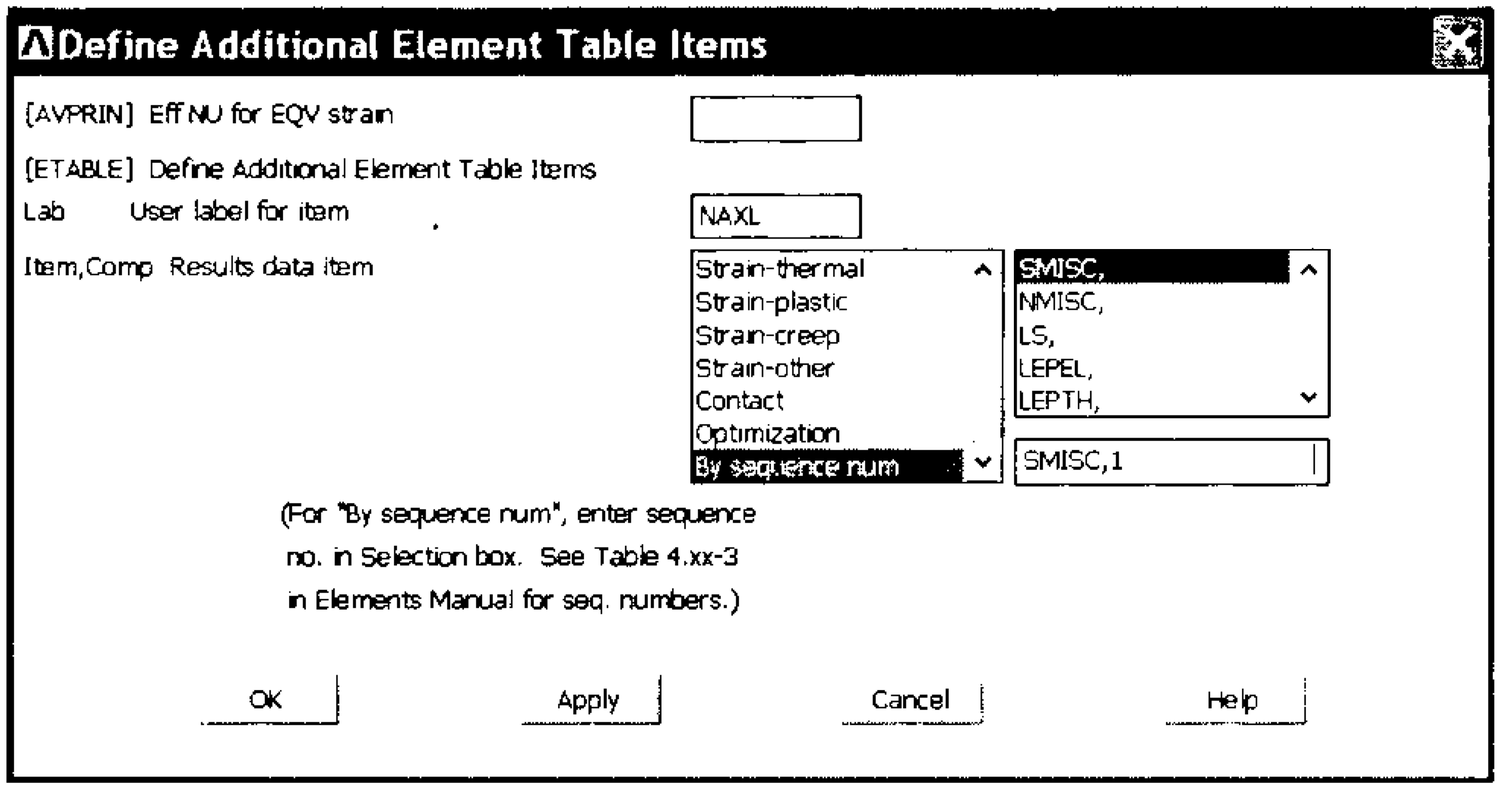


Hình 2.39. Gán tải trọng vào giàn

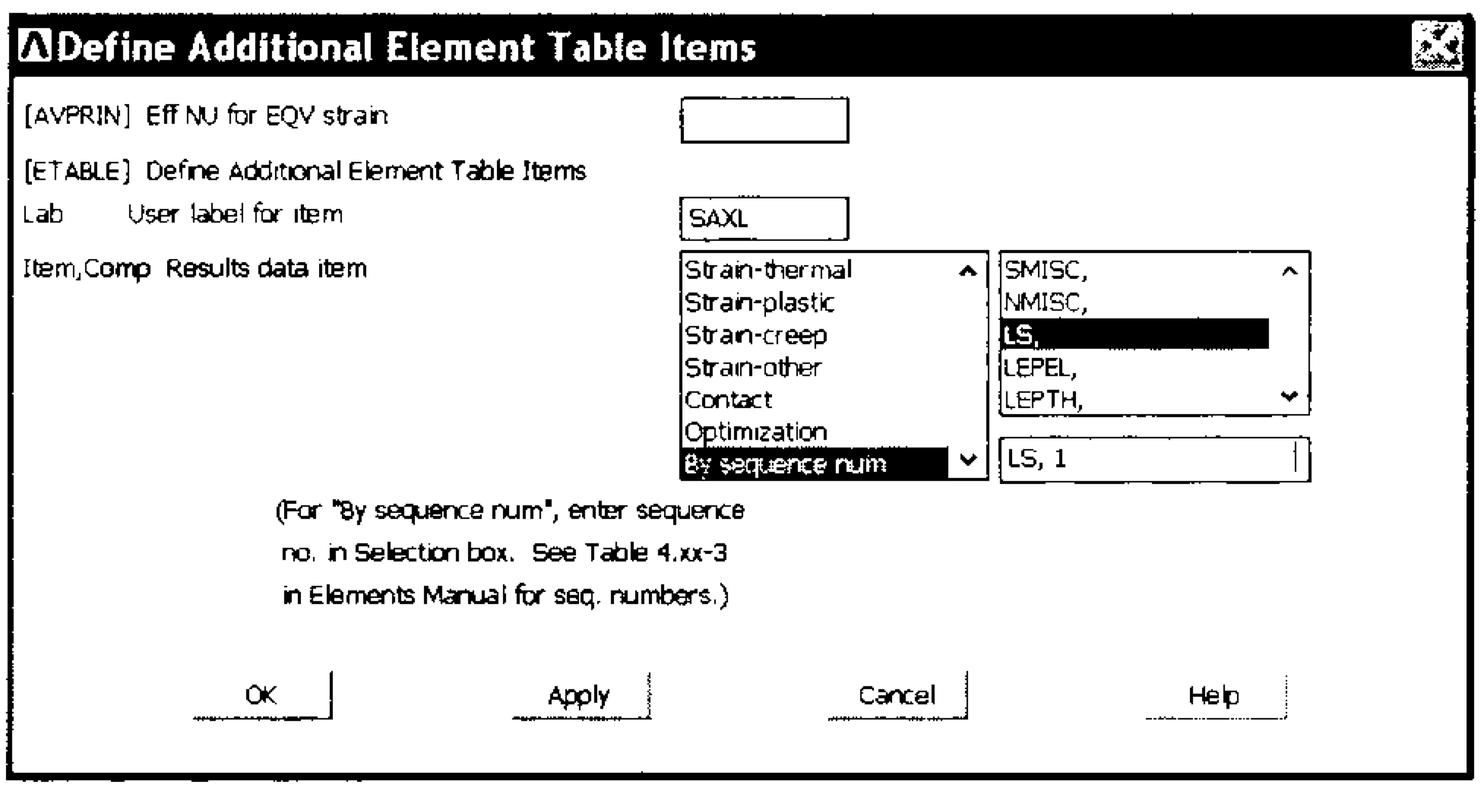
* Chạy chương trình: Solution > Solve > Current LS > Xuất hiện Solution is done thông báo việc giải bài toán đã hoàn thành > Close.

* Nội lực và ứng suất trong các thanh giàn: Đặt lệnh xuất lực dọc và ứng suất: General Postprocessor > Element Table > Define Table > Xuất hiện bảng Define Additional Element Table Items như ở hình 2.40 > Nhập NAXL ở cửa nhỏ bên trái (Lab) và SMISC,1 ở cửa sổ nhỏ bên phải (Item Comp) > Apply. Tương tự với ứng suất nhập SAXL ở cửa nhỏ bên trái (Lab) và SL,1 ở cửa sổ nhỏ bên phải (Item Comp) như ở hình 2.41 > OK.

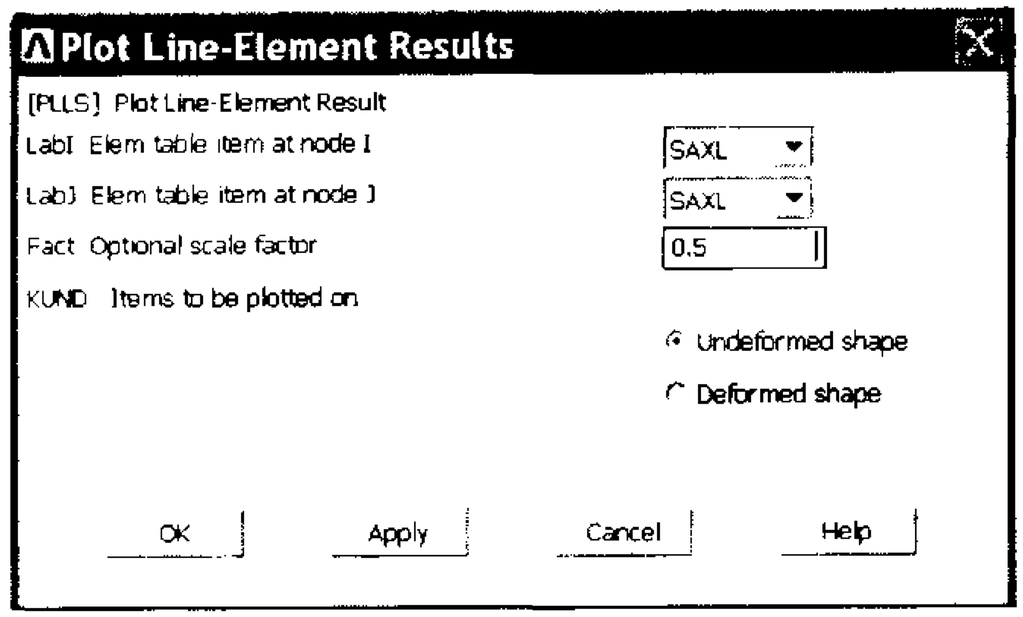
Hiển thị biểu đồ ứng suất và lực dọc từ General Postprocessor > Plot Result > Contour Plot > Line Element Result > Xuất hiện bảng Plot Line - Element Result > Chọn LabI là SAXL và LabJ là SAXL > Chọn hệ số tỷ lệ hiển thị Fact=0.5 như ở hình 2.42 > OK, ta có biểu đồ ứng suất giàn bằng phổ mầu cho ở hình 2.43. Để hiển thị biểu đồ ứng suất bằng phổ mầu cũng thực hiện tương tự với lệnh hiển thị như ở hình 2.42.



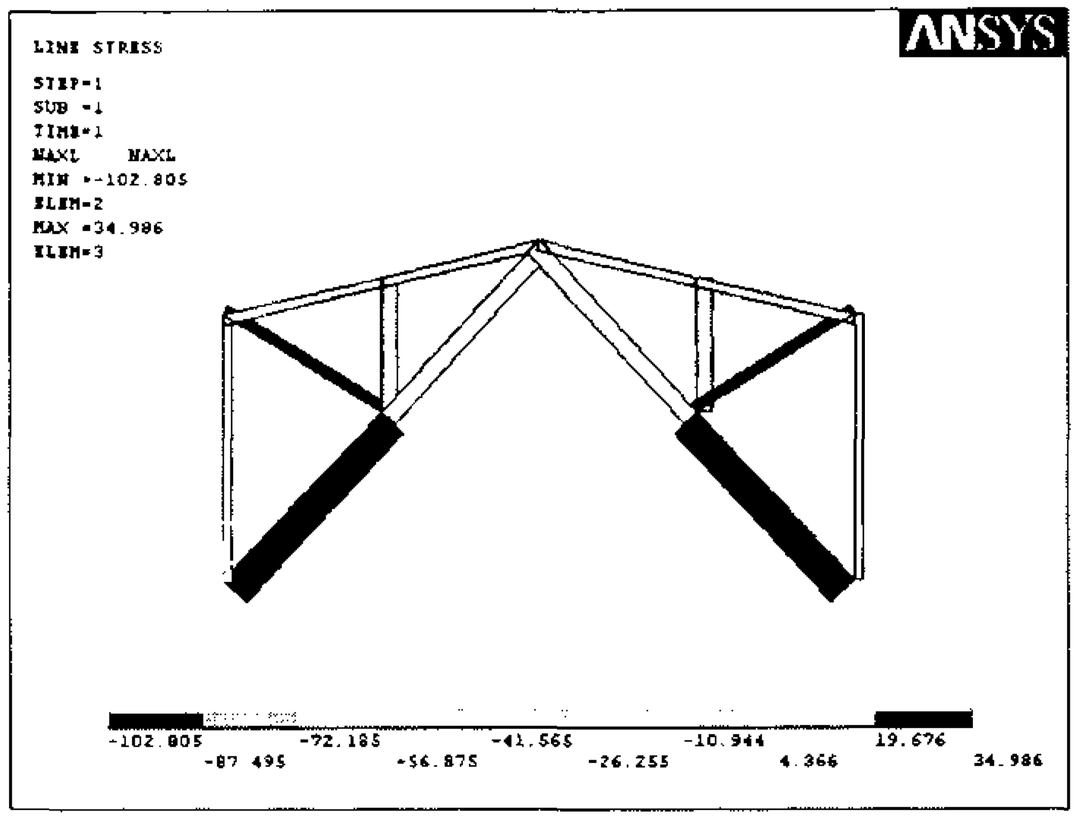
Hình 2.40. Đặt lệnh xuất lực dọc NAXL



Hình 2.41. Đặt lệnh xuất ứng suất dọc trục SAXL

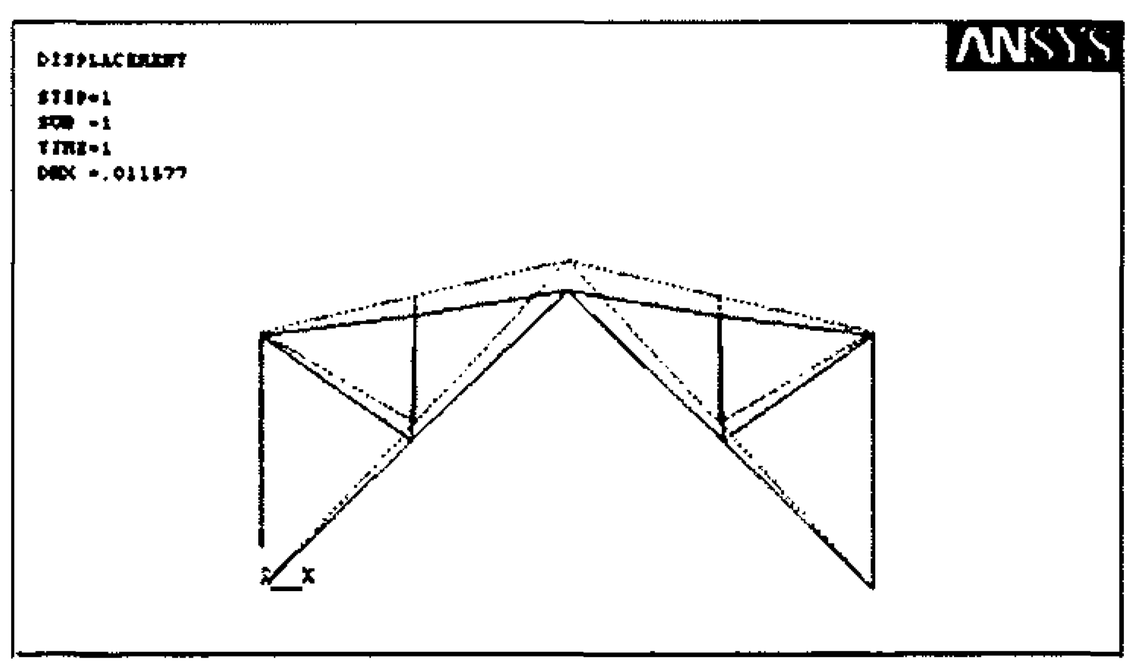


Hình 2.42. Chọn lệnh hiển thị ứng suất



Hình 2.43. Biểu đồ lực dọc giàn bằng phổ mầu

* Độ võng của giàn: General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Nodal Solu > DOF Solution > Displacement Vector SUM > Hình dạng biến dạng giàn cho ở hình 2.44, thông báo phía góc trên phía phải màn hình cho biết chuyển vị tại đỉnh khung DMX=0.011577m.



Hình 2.44. Hình dạng biến dạng của dầm

*Xuất bảng liệt kê giá trị lực dọc và ứng suất: General Postprocessor > List Result > Elem Table Data > Xuất hiện bảng List Element Table Data > Chọn NAXL và SAXL > OK > Xuất hiện bảng PRETAB Command, liệt kê lực dọc và ứng suất của các thanh giàn cho ở bảng 2.10.

Bảng 2.10. Nội lực và ứng suất

PRETAB Command

File

STAT ELEM	CURRENT NAXL	CURRENT SAXL
1	-25.000	-0.12500E+06
2	-102.80	-0.51402E+06
3	34.986	0.17493E+06
4	-30.806	-0.15403E+06
5	-50.000	-0.25000E+06
6	-58.941	-0.29471E+06
7	-30.806	-0.15403E+06
8	-58.941	-0.29471E+06
9	-30.806	-0.15403E+06
10	-50.000	-0.25000E+06
11	34.986	0.17493E+06
12	-30.806	-0.15403E+06
13	-102.80	-0.51402E+06
14	-25.000	-0.12500E+06

MINIMUM VALUES		
ELEM	2	2
VALUE	-102.80	-0.51402E+06

MAXIMUM VALUES		
ELEM	3	3
VALUE	34.986	0.17493E+06

2. Phương thức COMMAND

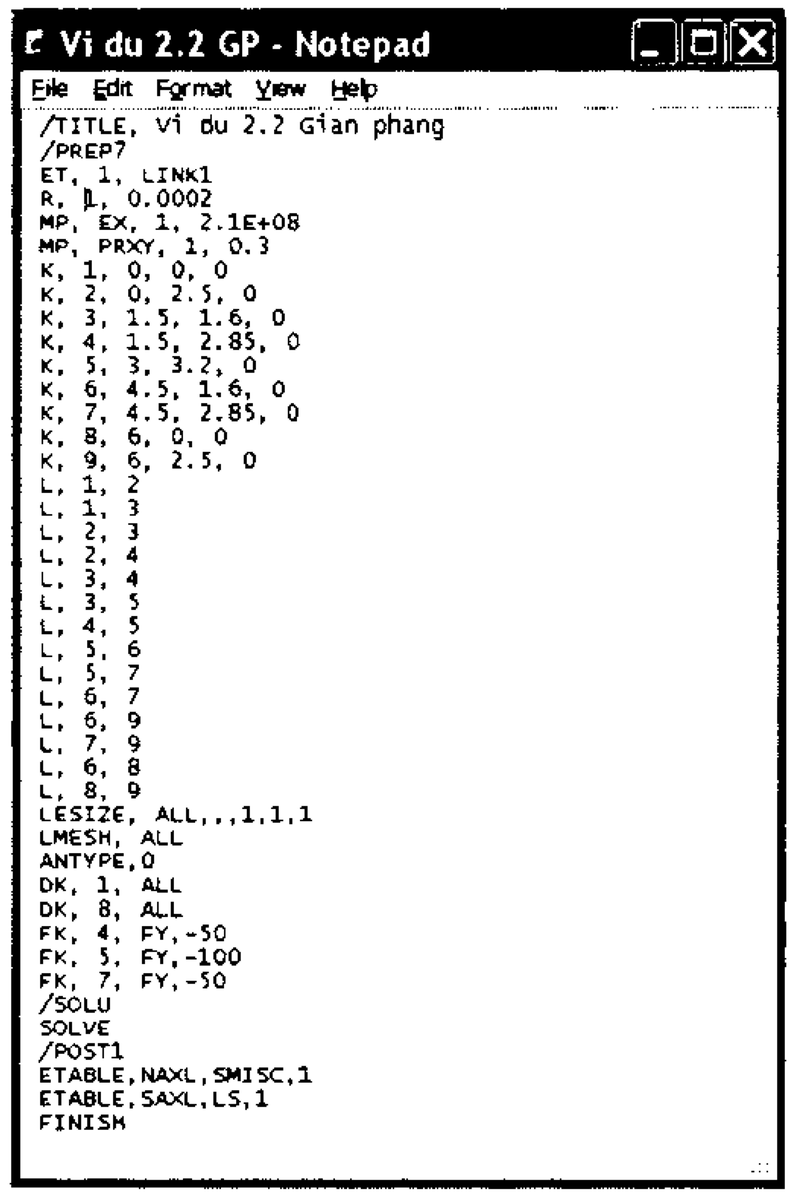
```
/TITLE, Vi du 2.3 Gian phang
/PREP7
ET,1,LINK1
R,1,0.0002
MP,EX,1,2.1E+08
MP,PRXY,1,0.3
K,1,0,0,0
K,2,0,2.5,0
K,3,1.5,1.6,0
K,4,1.5,2.85,0
K,5,3,3.2,0
K,6,4.5,1.6,0
K,7,4.5,2.85,0
K,8,6,0,0
K,9,9,2.5,0
L,1,2
```

```
L,1,3
L,2,3
L,2,4
L,3,4
L,3,5
L,4,5
L,5,6
L,5,7
L,6,7
L,6,9
L,7,9
L,6,8
L,8,9
ESIZE,0,1
LMESH,ALL
ANTYPE,0
DK,1,ALL
DK,8,ALL
FK,1,FY,-50
FK,9,FY,-50
FK,5,FY,-100
/SOLU
SOLVE
/POST1
ETABLE,NAXL,SMISC,1
ETABLE,SAXL,LS,1
FINISH
```

3. Phương thức APDL

Copy toàn bộ câu lệnh ở trên được soạn thảo trong Word vào phần mềm Notepad có tên file là Vidu 2.3 GP.txt như ở hình 2.45 và được lưu trong ổ D\ Thư mục Z.BT-ANSYS (2) với đường dẫn: D\ > Z.BT-ANSYS (2) > Vidu 2.3 GP.

Khởi động phần mềm ANSYS bằng cách nhấn chuột vào biểu tượng > Xuất hiện bảng New Analysis > Nhập Vidu 2.3 GP ở cửa sổ nhỏ Analysis Jobname > OK. Tiếp đến nhấn File > Read Input from... > Xuất hiện bảng Read File > Nhấn chuột vào D:\ Chọn thư mục Z.BT-ANSYS (2) ở cửa sổ phải > Chọn file Vidu 2.3 GP.txt ở cửa sổ trái > Nhấn OK > File dữ liệu của Ví dụ 2.3 sẽ được đưa vào phần mềm ANSYS và chạy cho đến khi có thông báo Solution is done > Close > Khai thác kết quả tính toán.



Vi du 2.2 GP - Notepad

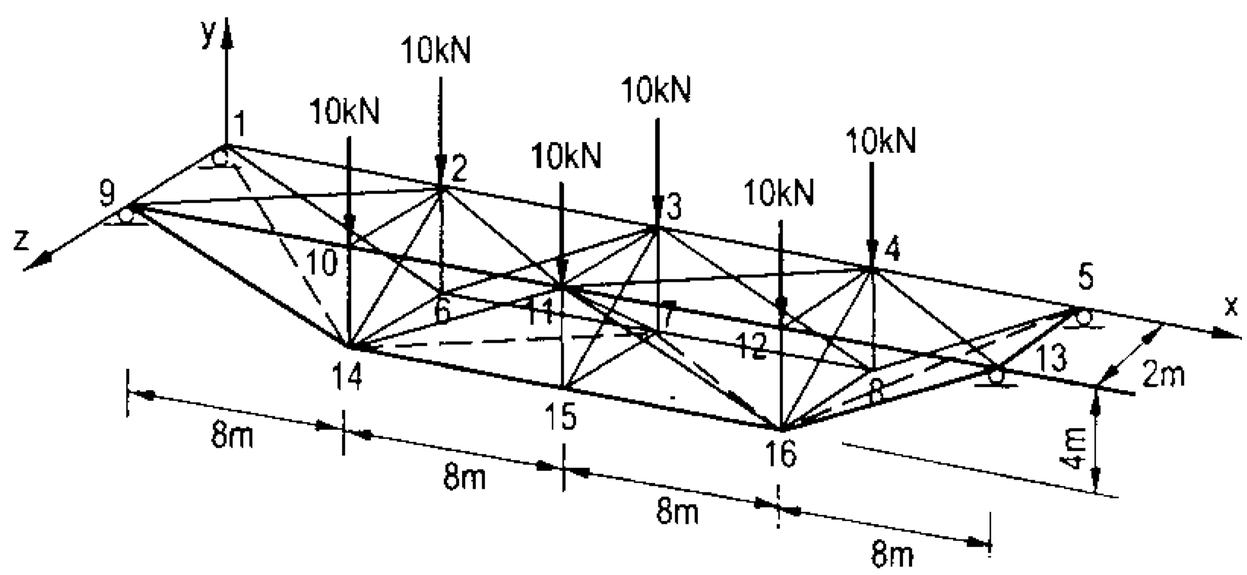
File Edit Format View Help

```
/TITLE, Vi du 2.2 Gian phang
/PREP7
ET, 1, LINK1
R, 1, 0.0002
MP, EX, 1, 2.1E+08
MP, PRXY, 1, 0.3
K, 1, 0, 0, 0
K, 2, 0, 2.5, 0
K, 3, 1.5, 1.6, 0
K, 4, 1.5, 2.85, 0
K, 5, 3, 3.2, 0
K, 6, 4.5, 1.6, 0
K, 7, 4.5, 2.85, 0
K, 8, 6, 0, 0
K, 9, 6, 2.5, 0
L, 1, 2
L, 1, 3
L, 2, 3
L, 2, 4
L, 3, 4
L, 3, 5
L, 4, 5
L, 5, 6
L, 5, 7
L, 6, 7
L, 6, 9
L, 7, 9
L, 6, 8
L, 8, 9
LESIZE, ALL,,,1,1,1
LMESH, ALL
ANTYPE,0
DK, 1, ALL
DK, 8, ALL
FK, 4, FY,-50
FK, 5, FY,-100
FK, 7, FY,-50
/SOLU
SOLVE
/POST1
ETABLE,NAXL,SMISC,1
ETABLE,SAXL,LS,1
FINISH
```

Hình 2.45. *Ngôn ngữ lập trình tham số hóa APDL Ví dụ 2.3*

• Ví dụ 2.4. Giàn không gian hình thang ngược

Xác định chuyển vị, lực dọc, ứng suất và phản lực liên kết của giàn không gian có sơ đồ tính toán như ở hình 2.46. Tiết diện mặt cắt ngang các thanh giàn A = 0,0032m^2. Vật liệu thép CT3 có E = 2.1×10^{8}kN/m^2, μ = 0.3.



Hình 2.46. *Sơ đồ tính toán*

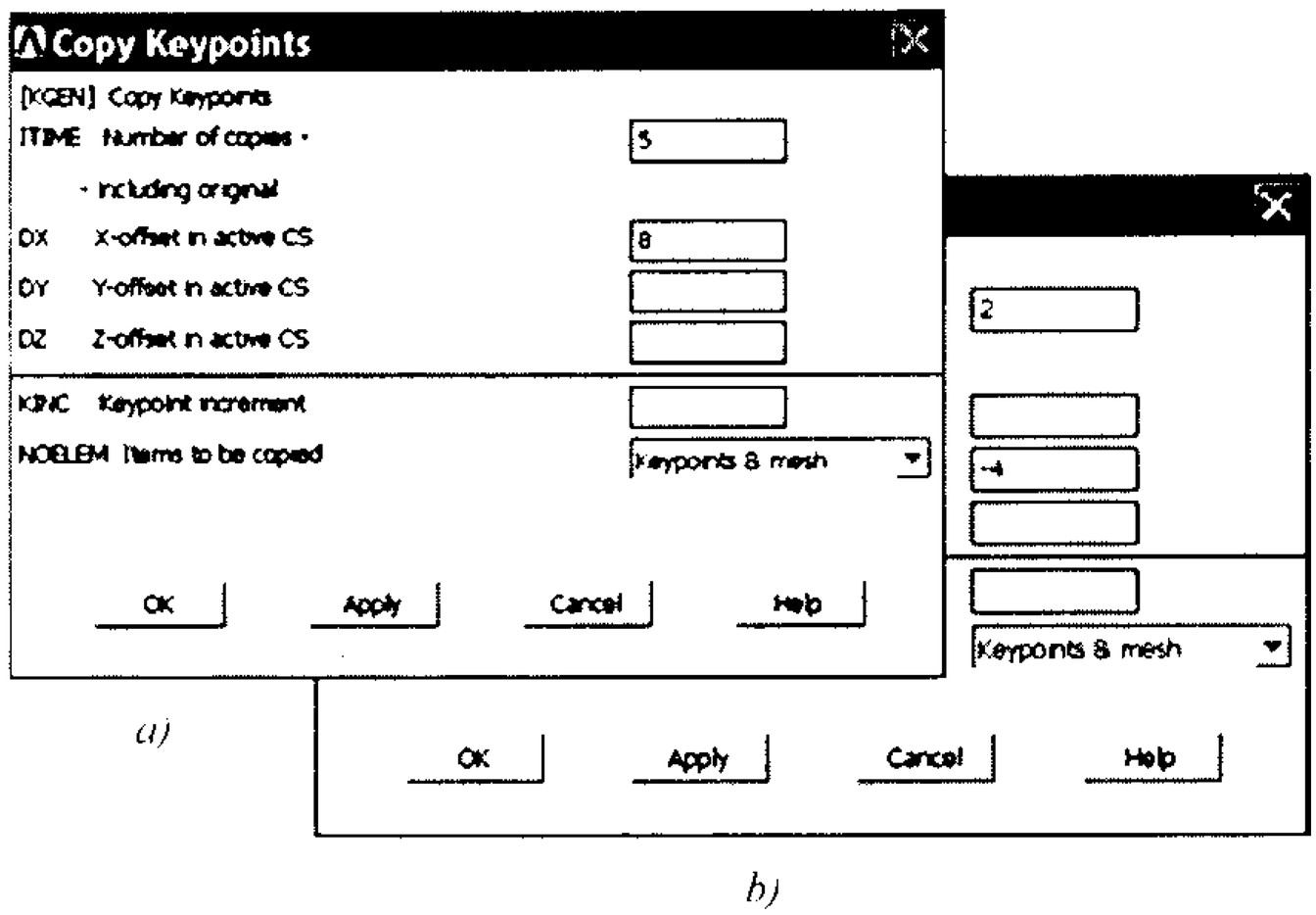
1. Phương thức GUI

* Đặt tên cho bài toán: Từ menu File > Change Title... > Xuất hiện bảng Change Title > Nhập: Vidu 2.4-Gian không gian > OK

* Kết cấu giàn: Tạo điểm nút 1: Từ menu Prep > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS > Xuất hiện bảng Create Keypoints in Active Coordinate System > Nhập điểm nút 1 với tọa độ X = 0, Y = 0, Z = 0 > OK.

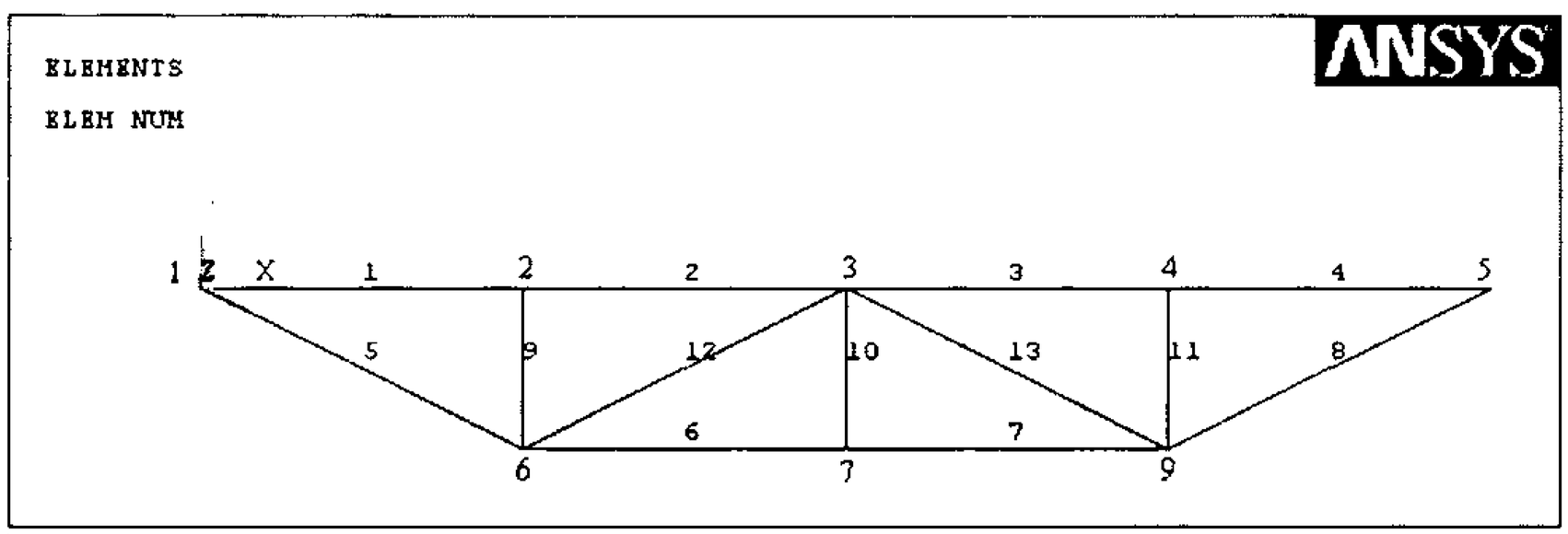
Sau đó dùng chức năng Copy tạo các nút 2, 3, 4, 5, từ menu Prep > Modeling > Copy > Keypoint > Nhấn chuột vào nút 1 > Apply > Xuất hiện bảng Copy Keypoints như ở hình 2.47a > Nhập ITIME = 5 và DX = 8 > Apply > ta có các điểm 1, 2, 3, 4, 5.

Tiếp tục dùng chức năng Copy tạo các nút 6, 7, 8 > Chọn các điểm 2, 3, 4 > APPLY > Xuất hiện lại bảng Copy Keypoints như ở hình 2.47b > Nhập ITIME = 2 và DY = -4 > OK > Ta có thêm các điểm 6, 7, 8.



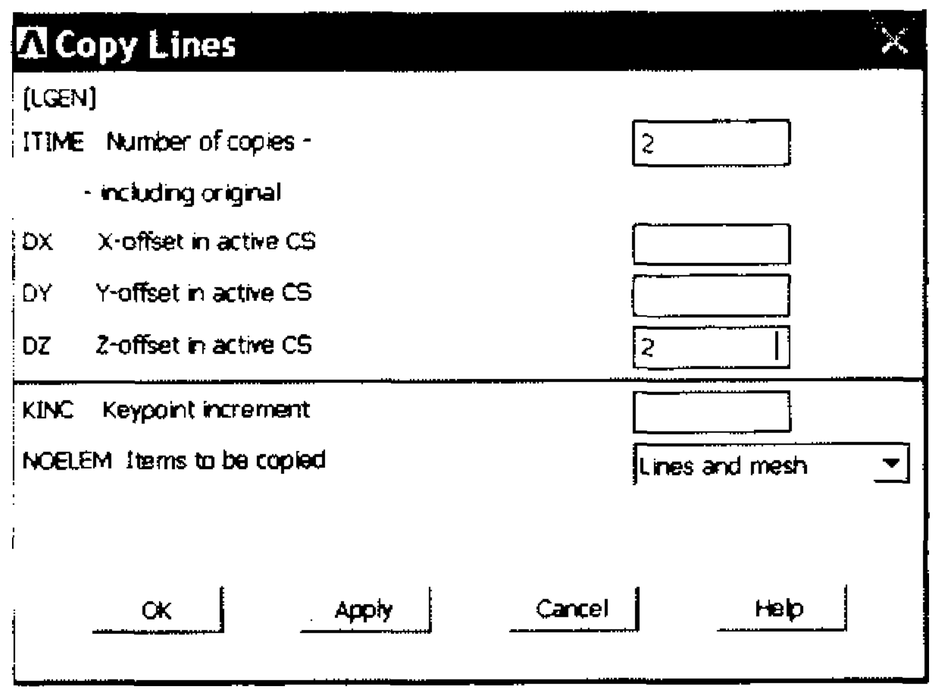
Hình 2.47. *Lệnh Copy điểm 1 và các điểm 2, 3, 4*

Dùng chức năng vẽ các đoạn thẳng (thanh giàn), từ menu Modeling > Create > Lines > Straight Line > Nhấn chuột vào nút 1-2 ta có đường thẳng L1,...., 3-8 có L13, gồm tất cả 13 đoạn thẳng như ở hình 2.48.

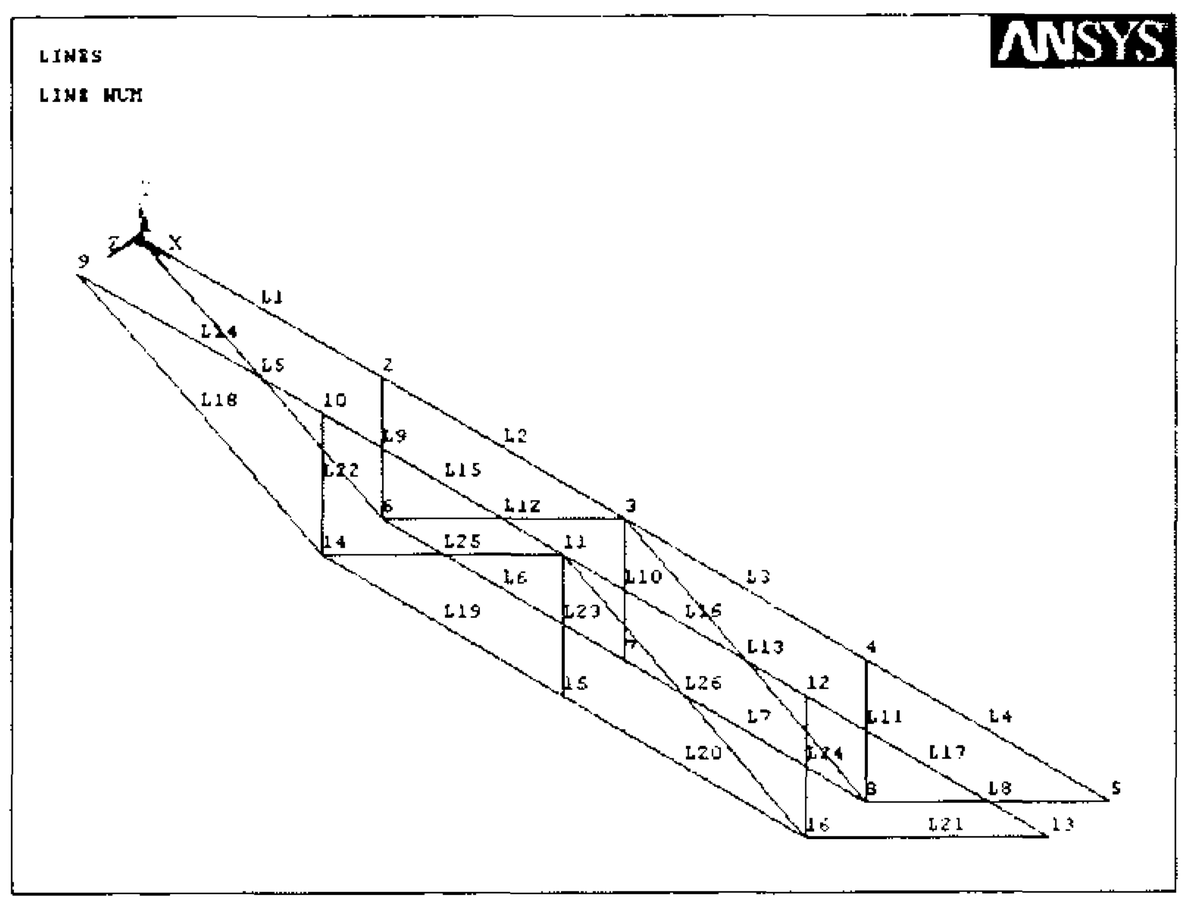


Hình 2.48. *Sơ đồ giàn trong mặt phẳng XY với Z=0*

Dùng chức năng Copy giàn này thêm một giàn nữa trong mặt phẳng XY với Z = 2, từ menu Modeling > Copy > Lines > Xuất hiện bảng Copy Lines như ở hình 2.49 > Nhập ITIME = 2 và DZ = 2 > OK > Ta có 2 giàn song song với mặt phẳng XY, nhấn chuột vào nút (Isomrtric View) ta có sơ đồ giàn như ở hình 2.50.



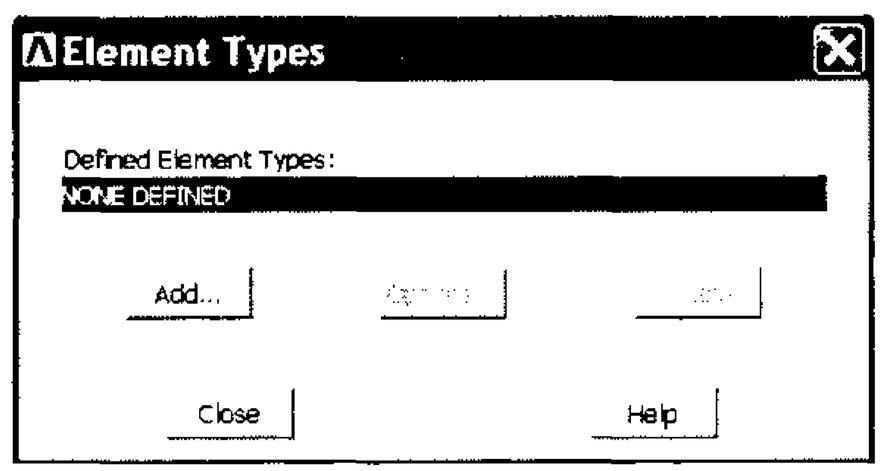
Hình 2.49. *Đặt lệnh Copy 13 Lines*



Hình 2.50. *Sơ đồ 2 giàn song song*

* Vẽ các thanh giàn còn thiếu: Từ Prep > Modeling > Create > Lines > Straight Line > Nhấn chuột lần lượt vào nút 1-2, 2-3,... và 10-11, ta có kết cấu giàn.

* Định nghĩa loại phần tử: Prep > Element Type > Add/Edit/Delete > Xuất hiện Element Type như ở hình 2.4 > Add > Xuất hiện bảng Library of Element Types như ở hình 2.51 > Add > Chọn phần tử spar8 (LINK8) > OK > Close.



Hình 2.51. *Định nghĩa loại phần tử LINK8*

* Định nghĩa đặc trưng hình học cho phần tử LINK8: Prep > Real Constants > Add\Edit \Delete > Xuất hiện bảng Real Constant Set Number 1, for LINK8 và nhập các số liệu sau:

Diện tích tiết diện dầm A = 0.0032 > OK > Close.

* Định nghĩa thuộc tính của vật liệu: Prep > Material Props > Material Model > Bảng Define Material Model Behavior > Structural > Linear > Elastic > Isotropic > Linear Isotropic Properties for Material > EX=2.1E8 và PRXY=0.3 > Material > Exit.

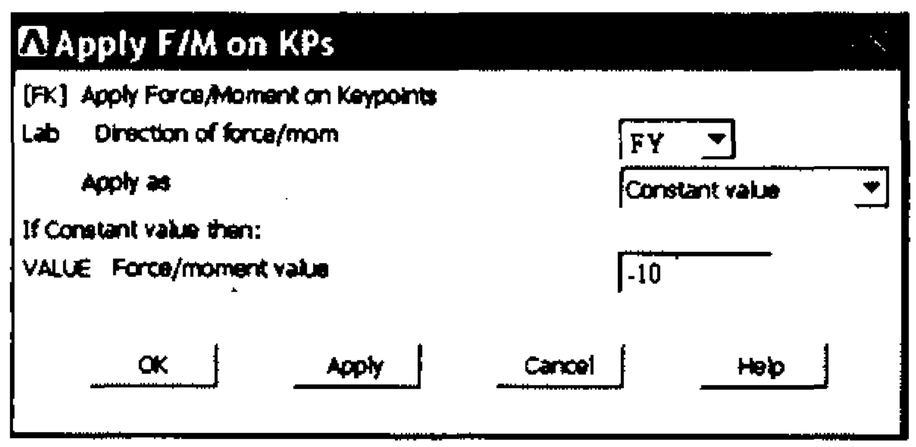
* Định nghĩa kích thước lưới: Prep > Meshing > Size Cntrls > Manual Size > Lines > All Lines > Xuất hiện bảng Element Sizes on All Selected Lines > Nhập số chia của phần tử NDIV = 1 > OK.

* Chia lưới phần tử: Prep > Meshing > Mesh > Lines > Xuất hiện bảng Mesh Lines > Nhấn và nút Pick All ở hình này.

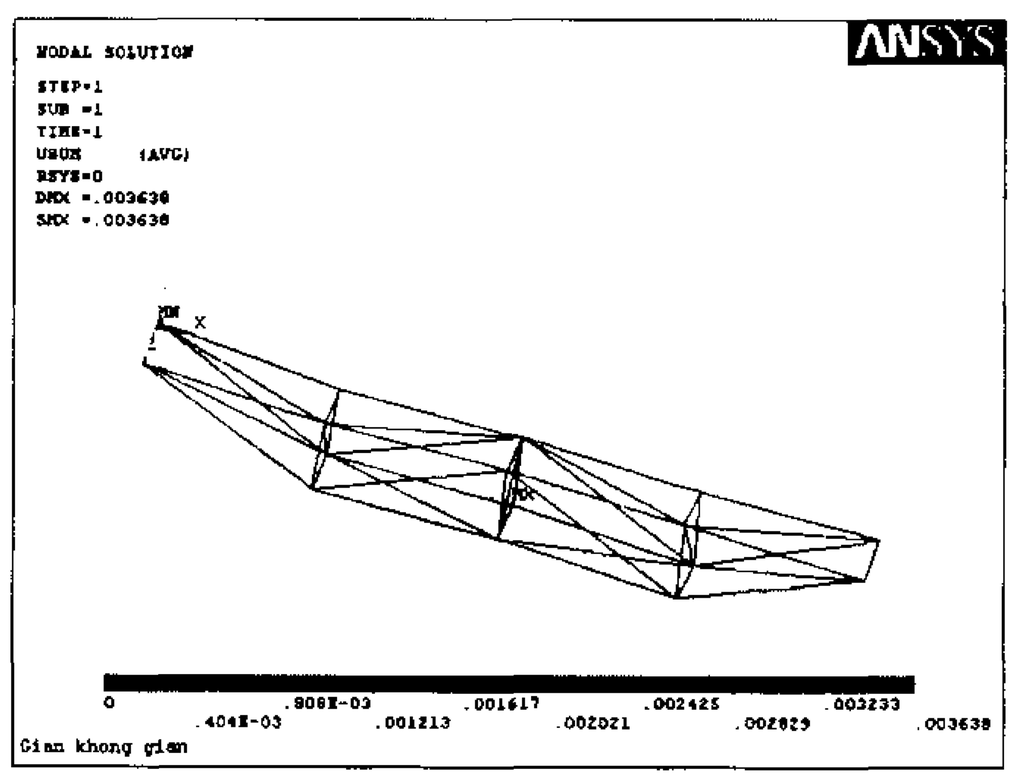
* Định nghĩa kiểu phân tích: Solution > Analysis Type > New Analysis > Xuất hiện bảng New Analysis > Chọn (•) Static > OK.

* Gán liên kết: Solution > Define Loads > Apply > Displacement > On Keypoints > Chọn điểm 1, 5, 9, 13 > OK > Bảng Apply U, ROT on KPs > Chọn All DOF > Nhập VALUE = 0 > OK.

* Gán tải trọng: Solution > Structural > Force/Moment > Nhấn chuột vào điểm 2, 3, 4, 10, 11, 12 > OK > Xuất hiện bảng Apply F/M on KPs như ở hình 2.52 > Chọn phương của tải trọng là FY, nhập giá trị của lực VALUE = -10 > OK.



Hình 2.52. Gán tải trọng vào giàn



Hình 2.53. Hình dạng biến dạng của giàn

* Chạy chương trình: Solution > Solve > Current LS > Xuất hiện thông báo việc giải đã hoàn thành > Close > Khai thác kết quả tính toán.

* Chuyển vị của giàn: General Postproc > Plot Results > Deformed Shape > Thông báo phía góc trên phải màn hình cho biết chuyển vị tại đầu dầm DMX=0.004619m.

Giá trị chuyển vị tại các nút giàn ứng với các thành phần chuyển vị UX, UY, UZ, USUM trong hệ tọa độ tổng thể được liệt kê ở bảng 2.11 qua lệnh sau General Postprocessor > List Result > Nodal Solution > DOF Solution > Displacement Vector USUM > OK.

Bảng 2.11. Chuyển vị tại các nút của giàn

PRNSOL Command

File

```
 LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
  TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0

 THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL
COORDINATE SYSTEM

    NODE      UX          UY          UZ          USUM
       1   0.0000      0.0000      0.0000      0.0000
       2 -0.30308E-04-0.23176E-02-0.56316E-04 0.23185E-02
       3 -0.60615E-04-0.32908E-02-0.11669E-02 0.34921E-02
       4 -0.30308E-04-0.21715E-02-0.42358E-03 0.22126E-02
       5   0.0000      0.0000      0.0000      0.0000
       6 -0.46476E-03-0.22581E-02 0.24866E-02 0.33909E-02
       7 -0.37749E-04-0.32908E-02 0.15495E-02 0.36375E-02
       8  0.38926E-03-0.21119E-02 0.27316E-02 0.34747E-02
       9   0.0000      0.0000      0.0000      0.0000
      10  0.32436E-04-0.10514E-02-0.56316E-04 0.10534E-02
      11 -0.86922E-04-0.17551E-02-0.11669E-02 0.21094E-02
      12 -0.10680E-03-0.57917E-03-0.42358E-03 0.72545E-03
      13   0.0000      0.0000      0.0000      0.0000
      14 -0.30798E-03-0.10382E-02 0.24866E-02 0.27121E-02
      15 -0.58614E-04-0.18291E-02 0.15495E-02 0.23979E-02
      16  0.20859E-03-0.61126E-03 0.27316E-02 0.28069E-02

 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES
 NODE          6           3           8           7
 VALUE  -0.46476E-03-0.32908E-02 0.27316E-02 0.36375E-02
```

* Nội lực và ứng suất dọc trục trong các thanh giàn: Để hiển thị biểu đồ nội lực và ứng suất dọc trục trong các thanh giàn trước hết chọn đối tượng xuất qua lệnh sau: General Postprocessor > Element Table > Define Table > Add > Xuất hiện bảng Define Additional Element Table Items. Với đối tượng xuất đặt tên Lab: NAXL (lực dọc trục) ở cửa nhỏ trên bên trái và chọn và nhập SMISC,1 ở cửa sổ nhỏ phía dưới bên phải như ở hình 2.54 > OK. Với đối tượng xuất là ứng suất nhập SAXL ở cửa sổ nhỏ phía trên bên trái và LS,1 ở bên phải như ở hình 2.55 > OK.

Define Additional Element Table Items

[AVPRIN] Eff NU for EQV strain

[ETABLE] Define Additional Element Table Items

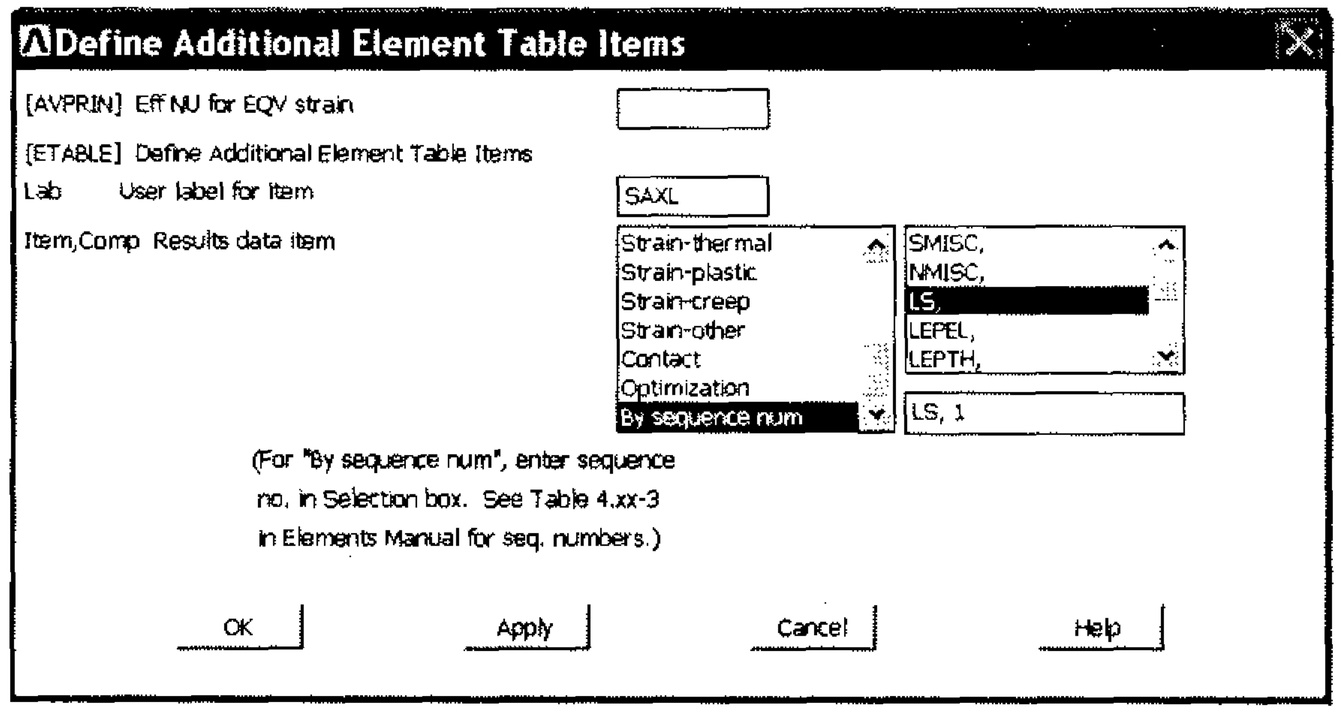
Lab User label for item — NAXL

Item,Comp Results data item — Strain-thermal, Strain-plastic, Strain-creep, Strain-other, Contact, Optimization, By sequence num — SMISC, NMISC, LS, LEPEL, LEPTH — SMISC, 1

(For "By sequence num", enter sequence no. in Selection box. See Table 4.xx-3 in Elements Manual for seq. numbers.)

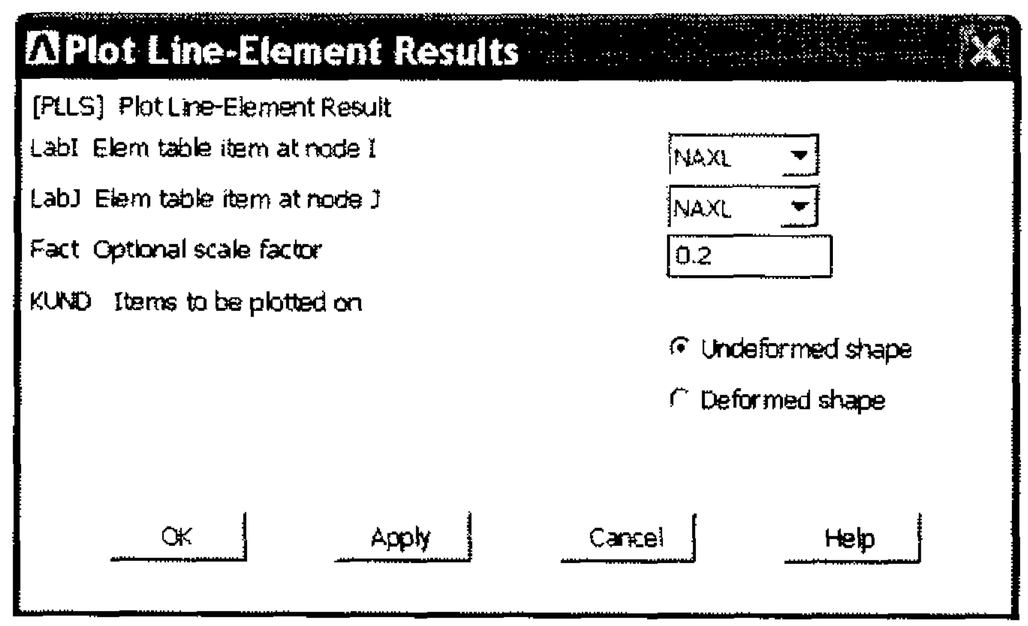
OK | Apply | Cancel | Help

Hình 2.54. Đặt lệnh xuất lực dọc trục

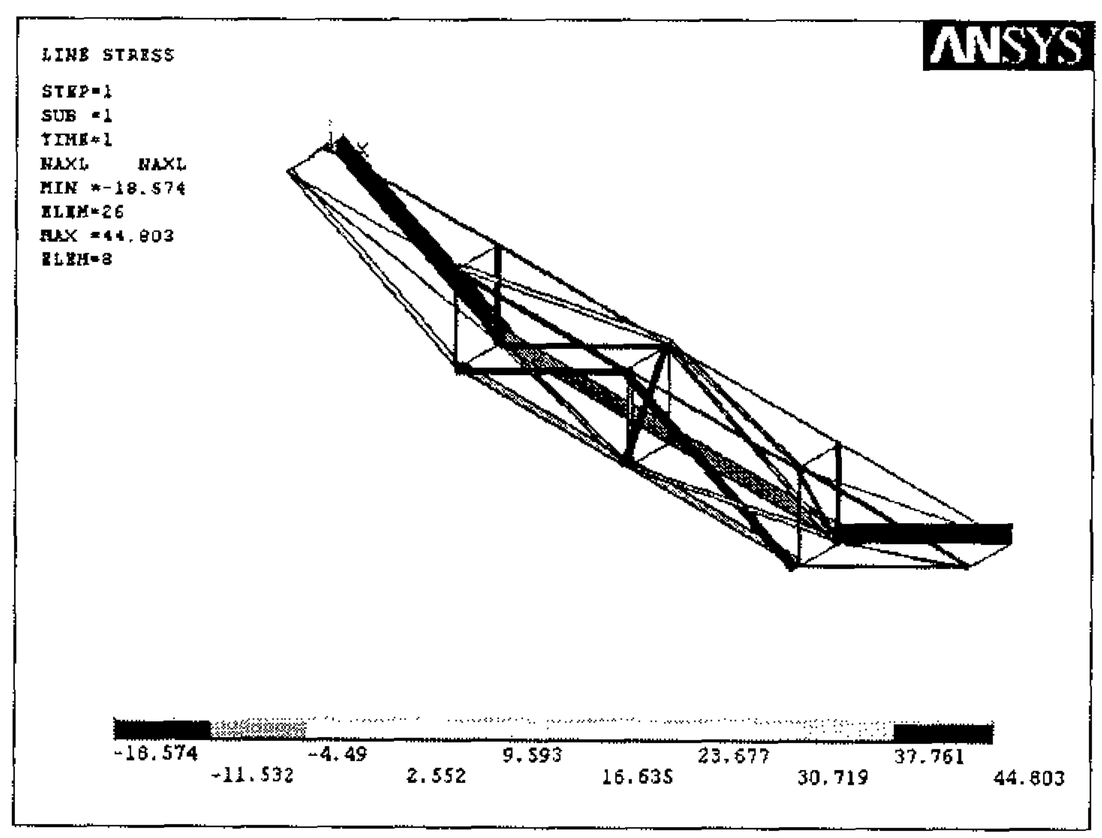


Hình 2.55. *Đặt lệnh xuất ứng suất dọc trục*

Hiển thị biểu đồ lực dọc trong các thanh giàn qua lệnh General Postprocessor > Plot Result > Contour Plot > Line Element Result > Xuất hiện bảng Plot Line Element Results như ở hình 2.56 > Chọn LabI: NAXL, LabJ: NAXL > OK > Xuất hiện biểu đồ lực dọc NAXL bằng phổ mầu như ở hình 2.57.



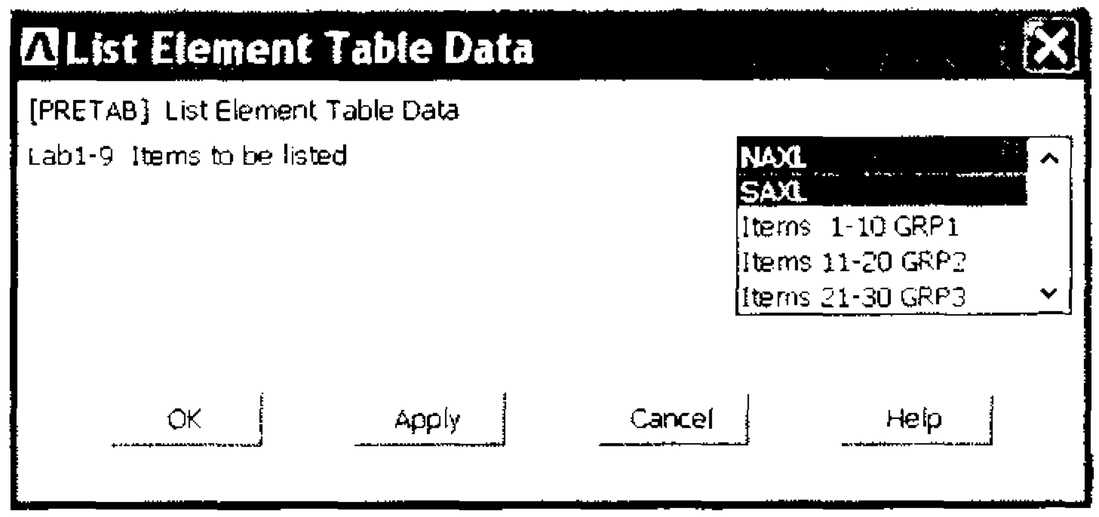
Hình 2.56. *Lệnh xuất biểu đồ lực dọc*



Hình 2.57. *Biểu đồ lực dọc của các phần tử giàn*

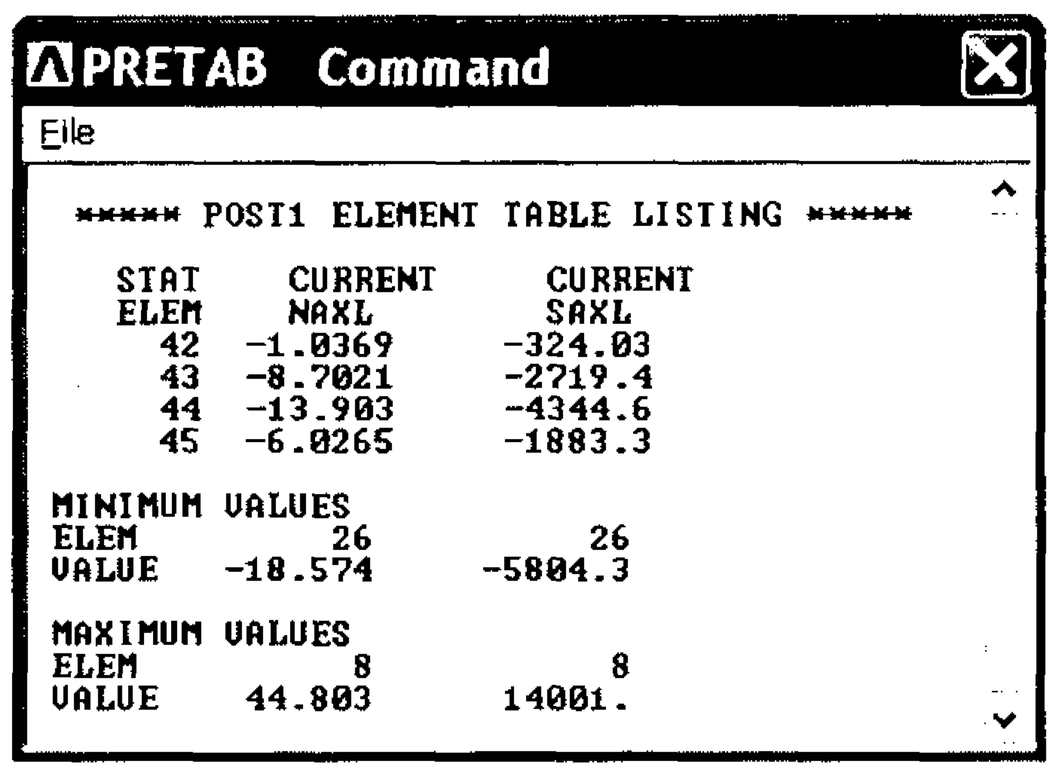
Hiển thị biểu đồ ứng suất trong các thanh giàn qua lệnh General Postprocessor > Plot Result > Contour Plot > Line Element Result > Xuất hiện bảng Plot Line Element Results > Chọn LabI: SAXL, LabJ: SAXL > OK > Xuất hiện biểu đồ ứng suất dọc trục SAXL bằng phổ mầu tương tự như ở hình 2.57.

Giá trị lực dọc và ứng suất trong một số thanh giàn được liệt kê qua lệnh sau General Postproc > List Result > Element Table Data > Chọn NAXL và SAXL như ở hình 2.58 > OK > Xuất hiện bảng nội lực và ứng suất trong các thanh giàn. Từ bảng 2.12 cho thấy lực dọc lớn nhất tại phần tử 8 có NAXL=44.803kN và nhỏ nhất tại phần tử 26 với NAXL=-18.574kN.



Hình 2.58. Lệnh xuất lực dọc và ứng suất các thanh giàn

Bảng 2.12. Lực dọc và ứng suất tại một số phần tử giàn



2. Giải theo phương thức COMMAND

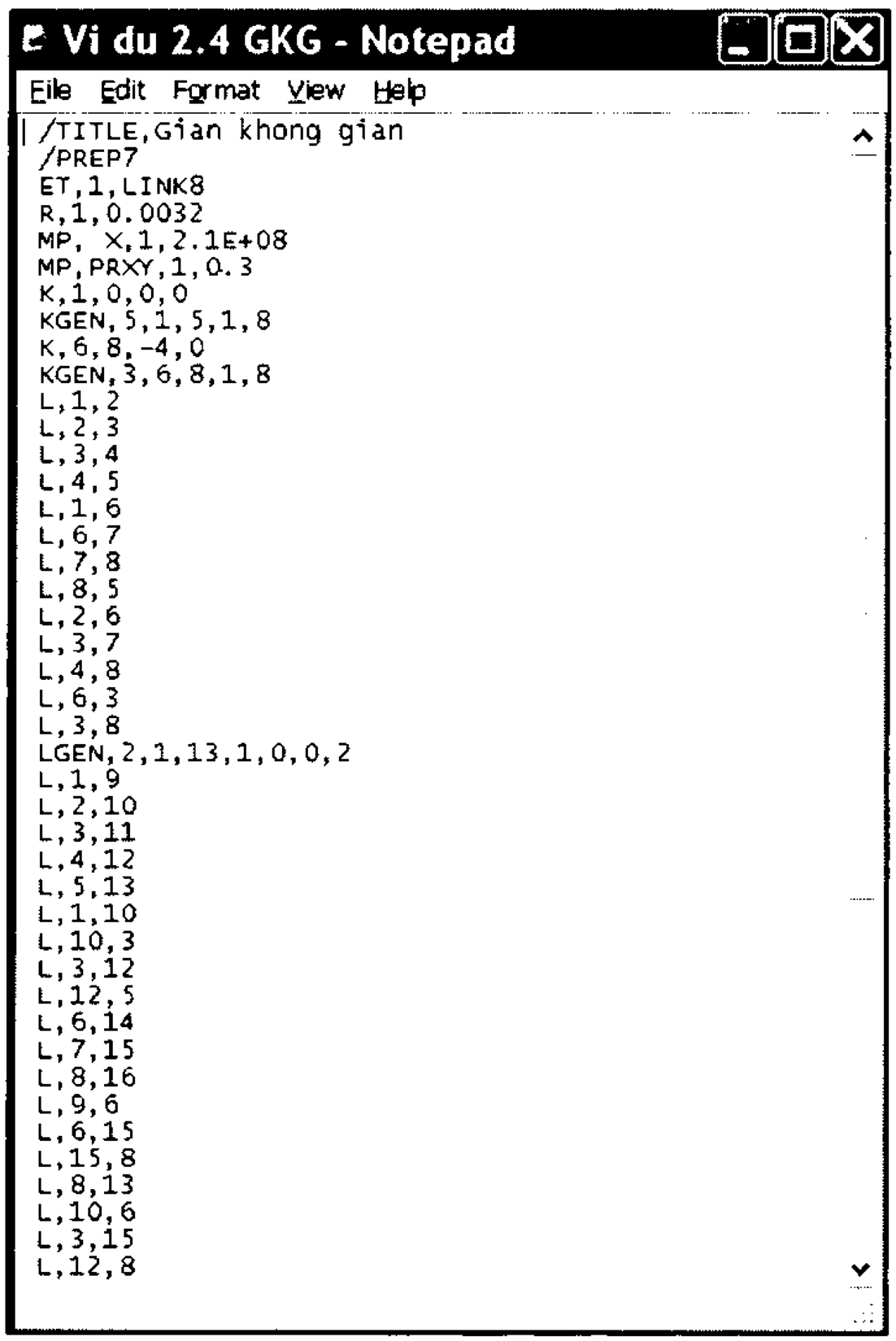
```
/TITLE, Vidu 2.4-Gian khong gian
/PREP7
ET,1,LINK8
R,1,0.002
MP,EX,1,2.1E+08
MP,PRXY,1,0.3
K,1,0,0 0
KGEN,5,1,6,8
```

```
K,6,8, -4, 0
KGEN,4,6,6,8,1
L,1,2
L,2,3
L,3,4
L,4,5
L,1,6
L,6,7
L,7,8
L,8,5
L,2,6
L,3,7
L,4,8
L,6,5
L,3,8
LGEN,2,1,13,1,0,0,2
L,1,9
L,2,10
L,3,11
L,4,12
L,5,13
L,1,10
L,10,3
L,3,12
L,12,5
L,9,6
L,6,15
L,15,8
L,8,13
L,6,10
L,3,15
L,8,12
L,6,14
L,7,15
L,8,16
L,9,14
ESIZE,0,1
LMESH,ALL
ANTYPE,0
DK,1, ALL,,,5,9,12
FK,2, FY,-10,,,3,4
FK,10, FY,-10,,,11,12
```

/SOLU
SOLVE
/POST1
ETABLE,NAXL,SMISC,1
ETABLE,SAXL, LS,1
FINISH

3. Giải theo phương thức APDL

Copy toàn bộ câu lệnh ở trên được soạn thảo trong Word vào phần mềm Notepad có tên file là Vidu 2.4 GKG.txt như ở hình 2.59 và được lưu trong ổ D\ Thư mục Z.BT-ANSYS (2) với đường dẫn: D\ > Z.BT-ANSYS (2) > Vidu 2.4 GKG.



***Hình 2.59**. Ngôn ngữ lập trình APDL cho giàn ở Ví dụ 2.4*

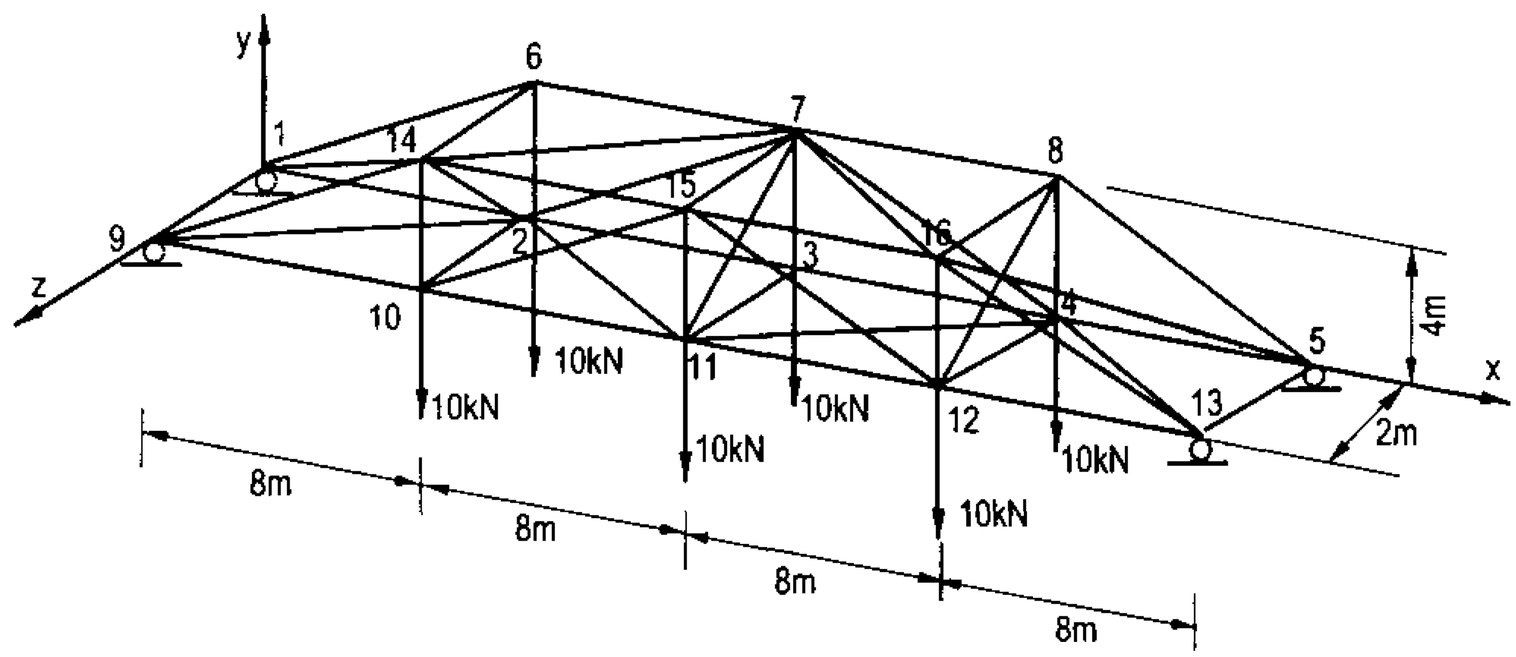
Khởi động phần mềm ANSYS bằng cách nhấn chuột vào biểu tượng > Xuất hiện bảng New Analysis > Nhập Vidu 2.4 GKG ở cửa sổ nhỏ Analysis Jobname > OK. Tiếp đến nhấn File > Read Input from... > Xuất hiện bảng Read File > Nhấn chuột vào

D:\ Chọn thư mục Z.BT-ANSYS (2) > Chọn file Vidu 2.4 GKG.txt ở cửa sổ trái > Nhấn OK > File dữ liệu của Ví dụ 2.4 sẽ được đưa vào phần mềm ANSYS và chương trình sẽ chạy.

Khi có thông báo Solution is done > Close > Khai thác các kết quả tính toán như biểu đồ lực dọc, biểu đồ ứng suất và các thông tin khác tương tự như trong Vidu 2.4 GKG theo phương thức GUI.

- **Ví dụ 2.5. Giàn không gian hình thang**

Xác định lực dọc và chuyển vị của giàn không gian có sơ đồ tính toán cho ở hình 2.60. Tiết diện ngang các thanh giàn A = 0.0032m^2. Vật liệu thép CT3 có E = 2.1×10^{8}kN/m^2, μ = 0.3.



Hình 2.60. *Sơ đồ tính toán giàn*

Giàn cho ở Vidu 2.5 chỉ khác giàn trong ví dụ 2.4 là các điểm nút 6, 7, 8, 14, 15, 16 nằm về phía dương của trục Y, để giải bài toán này nhanh nhất là dùng phương thức APDL.

START > Notepad > File > Open > Chọn file Vi du 2.4 GKG > Open > Save as > Vidu 2.5 GKG > OK. Ta có file Vi du 2.5 GKG - Notepad và sửa các dữ liệu đầu vào như ở hình 2.61 (chỉ cần sửa tọa độ điểm 6(8,-4,0) thành 6(8,4,0), còn các điểm 7, 8, 14, 15, 16 do Copy từ điểm 6 nên tự thay đổi > File > Save với đường dẫn:

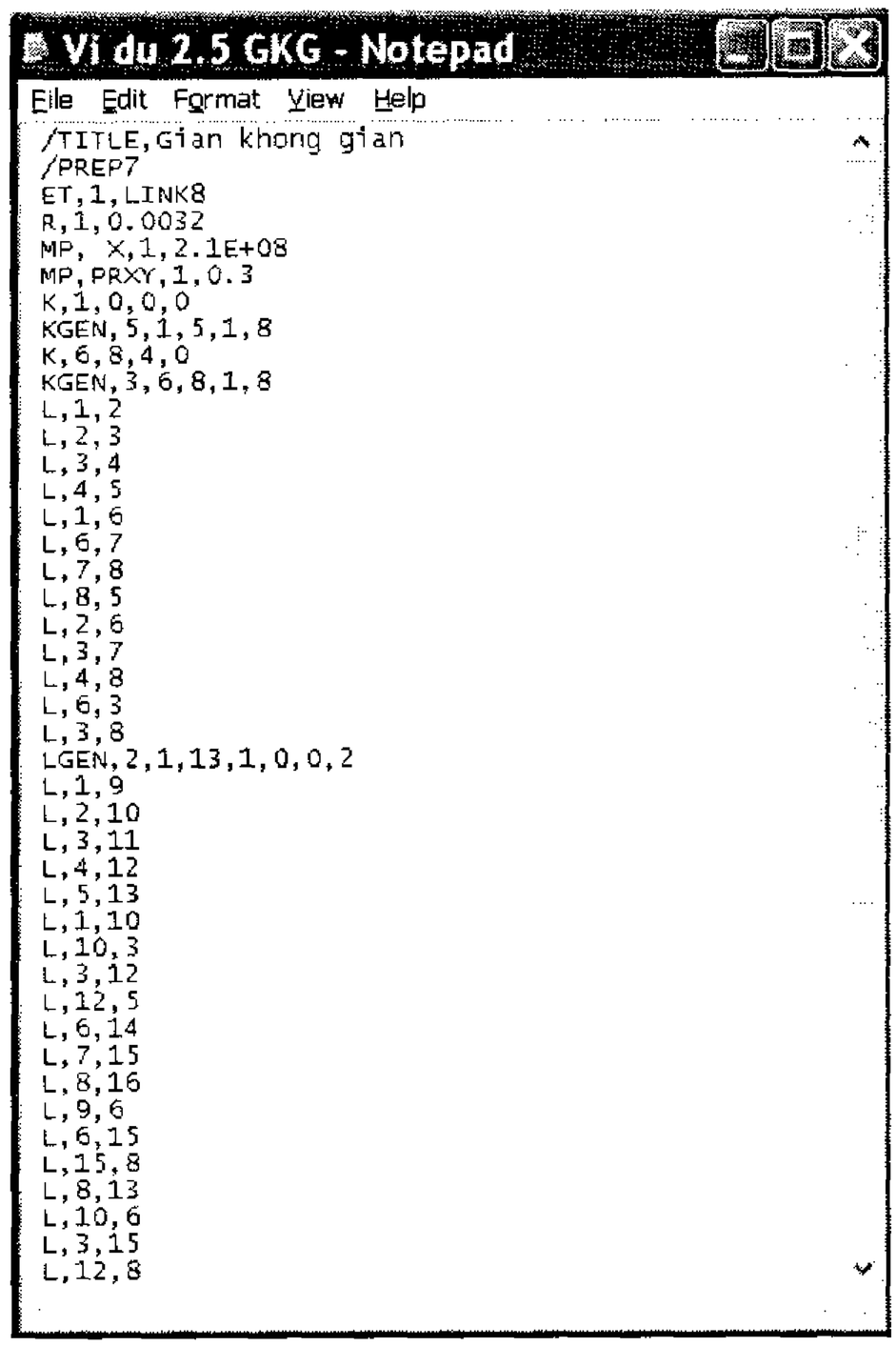
D > Z.BT ANSYS (2) > Vidu 2.5 GKG.txt

Sau đó chạy chương trình và khai thác kết quả theo trình tự sau: Khởi động phần mềm ANSYS, nhấn chuột vào biểu tượng > Xuất hiện bảng New Analysis > Nhập Vidu 2.5 GKG trong cửa sổ nhỏ ở Analysis Jobname > Nhấn OK.

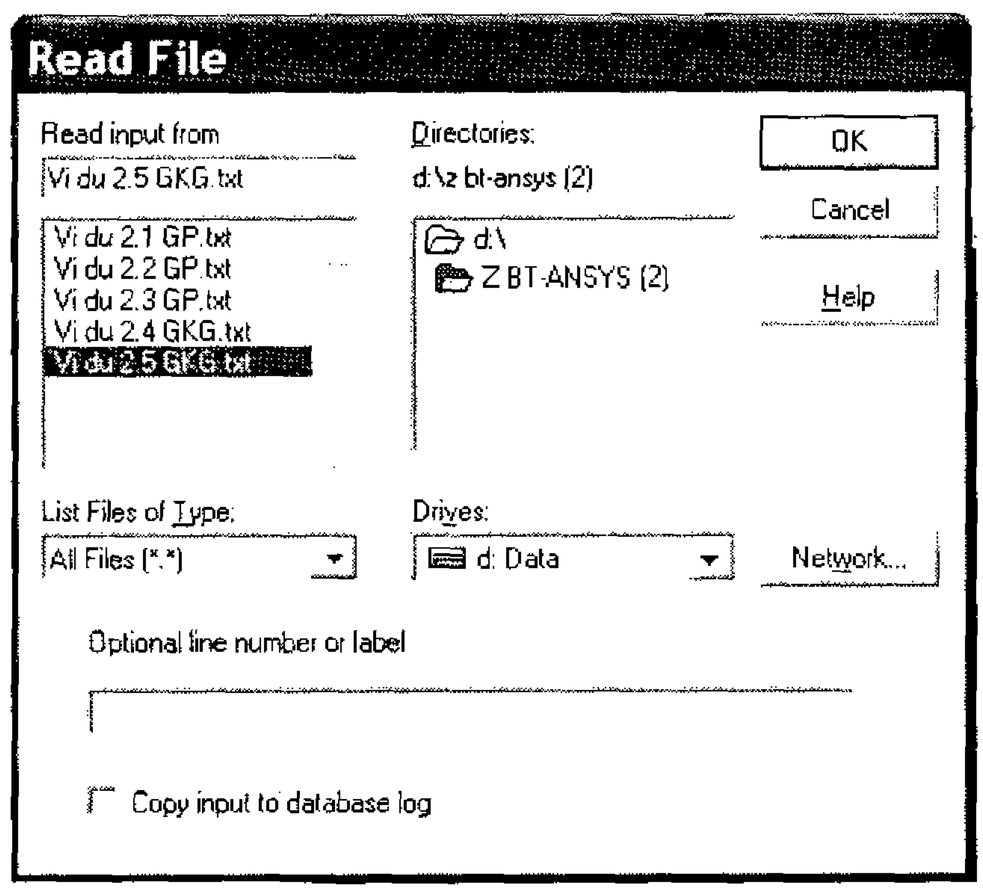
Từ màn hình ANSYS > Menu File > Read Input from... > Xuất hiện bảng Read File > Vào ổ D:\ Nháy đúp chuột vào thư mục Z BT-ANSYS(2) ở cửa sổ nhỏ bên phải > Chọn file Vi du 2.5 GKG.txt ở cửa sổ trái như ở hình 2.62.

Nhấn OK > File dữ liệu của Vi dụ 2.5 GKG đã được chuyển vào phần mềm ANSYS và chương trình sẽ chạy, khi có thông báo Solution is done cho biết công việc tính toán đã xong > Nhấn Close và khai thác kết quả tính toán về chuyển vị, nội lực, ứng suất và các thông tin khác được thực hiện như phương thức GUI. Trong lập trình tham số hóa theo phương thức APDL đã đưa vào dòng lệnh ETABLE, NAXL, SMISC,1 và dòng lệnh ETABLE, SAXL, LS,1 nên khi khai thác không cần lệnh đặt lực dọc và ứng suất

như ở hình 2.58, chỉ cần lệnh xuất lực dọc NAXL như ở hình 2.59 và lệnh xuất ứng suất SAXL như ở hình 2.60.

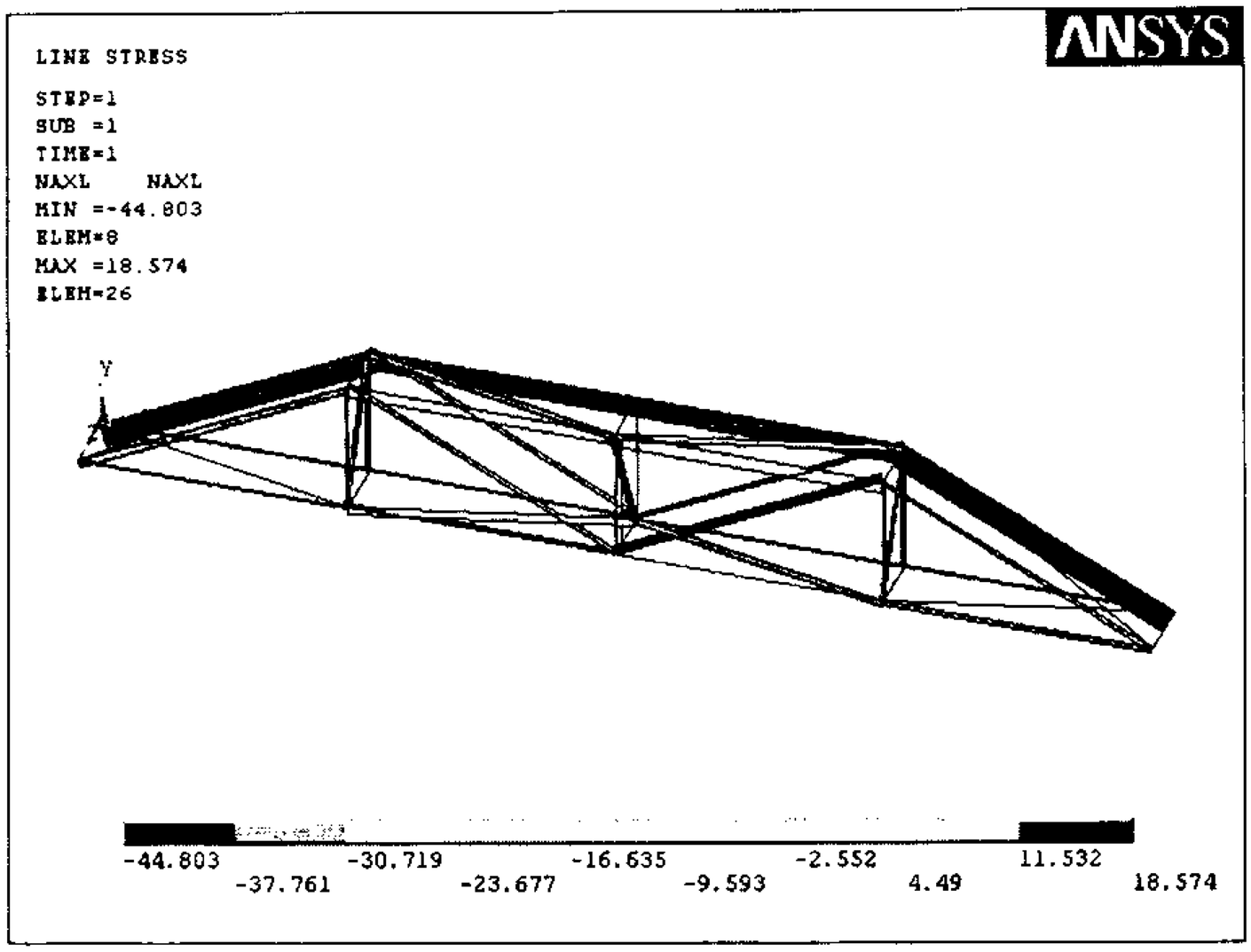


Hình 2.61. *Ngôn ngữ lập trình tham số APDL cho Ví dụ 2.5*



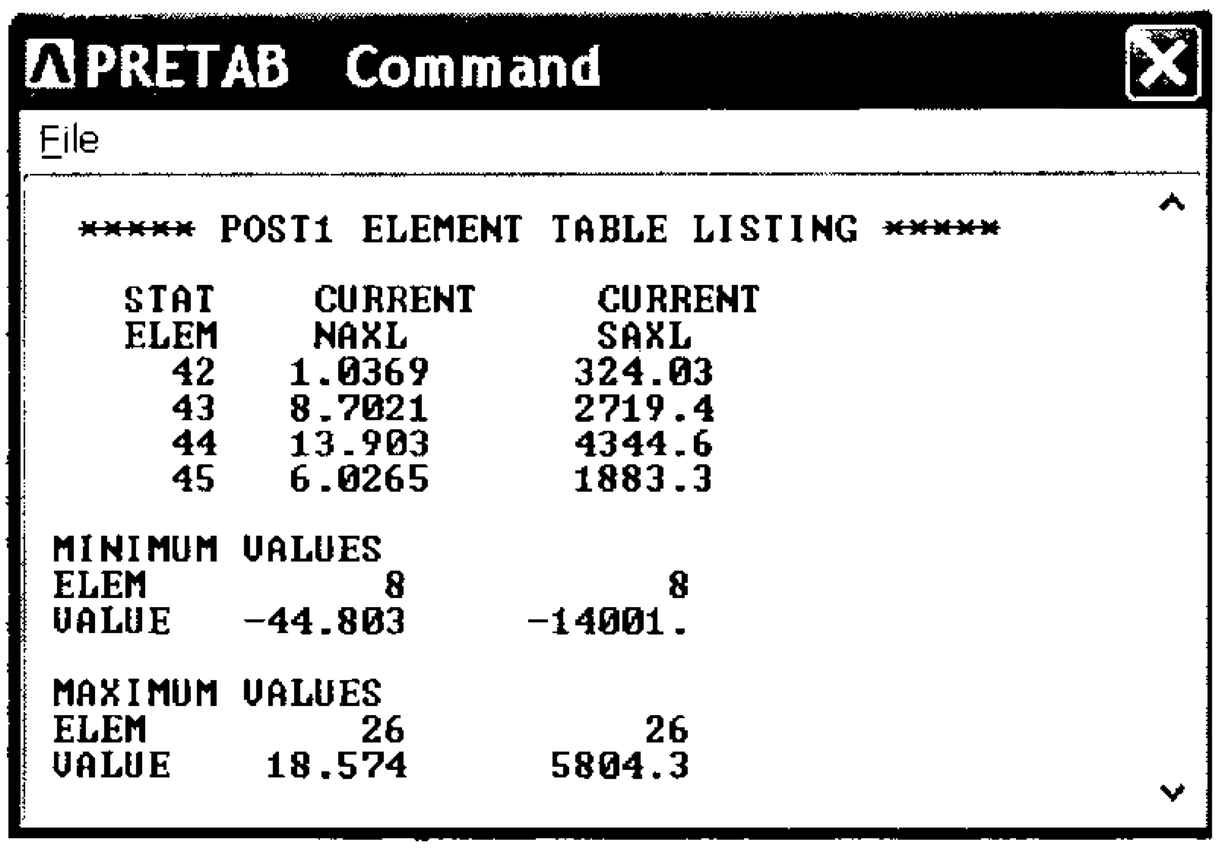
Hình 2.62. *Đọc file Vidu 2.5 GKG.txt vào ANSYS*

Xuất nội lực trong các thanh giàn từ General Postproc > Element Table > Define Table > Nodal Solution > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data > DOF Solution > Displacement Vector SUM > Ta có biểu đồ lực dọc như ở hình 2.63, lực dọc lớn nhất tại phần tử 26 có NAXL=18.574kN và nhỏ nhất là phần tử 8 có NAXL=-44.803kN.



Hình 2.63. Biểu đồ lực dọc trong các thanh giàn

Bảng 2.13. Lực dọc và ứng suất trong thanh giàn

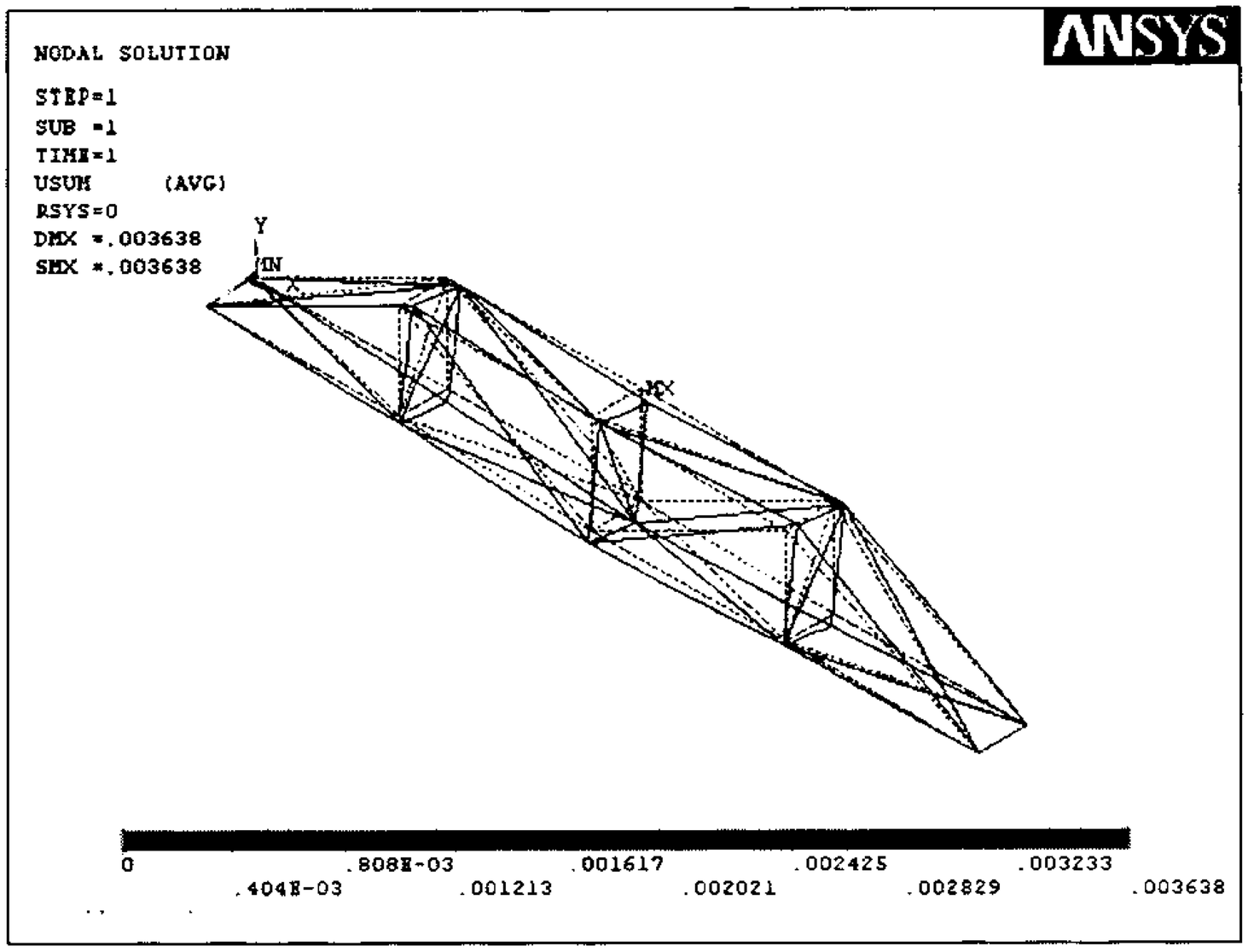


PRETAB Command

File

```
***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING *****

  STAT      CURRENT       CURRENT
  ELEM      NAXL          SAXL
    42    1.0369        324.03
    43    8.7021        2719.4
    44    13.903        4344.6
    45    6.0265        1883.3

MINIMUM VALUES
ELEM            8             8
VALUE     -44.803       -14001.

MAXIMUM VALUES
ELEM           26            26
VALUE      18.574        5804.3
```

Chuyển vị: General Postproc > Plot Result > Contour Plot > Nodal Solution > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data > DOF Solution > Displacement Vector SUM > Ta có biểu đồ chuyển vị của giàn như ở hình 2.64. Từ phía trên góc trái của biểu đồ chuyển vị cho biết chuyển vị lớn nhất của giàn bằng DMX = 0.003638m.



Hình 2.64. Biểu đồ chuyển vị của giàn

Giá trị chuyển vị tại các nút giàn được liệt kê qua lệnh sau General Postproc > List Result > Nodal Solution > DOF Solution > Displacement Vector USUM > OK > Ta có bảng 2.14 liệt kê chuyển vị nút của giàn.

Bảng 2.14. Chuyển vị tại các nút của giàn

PRNSOL Command

File

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

NODE	UX	UY	UZ	USUM
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.30308E-04	-0.23176E-02	0.56316E-04	0.23185E-02
3	0.60615E-04	-0.32908E-02	0.11669E-02	0.34921E-02
4	0.30308E-04	-0.21715E-02	0.42358E-03	0.22126E-02
5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	0.46476E-03	-0.22581E-02	-0.24866E-02	0.33909E-02
7	0.37749E-04	-0.32908E-02	-0.15495E-02	0.36375E-02
8	-0.38926E-03	-0.21119E-02	-0.27316E-02	0.34747E-02
9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	-0.32436E-04	-0.10514E-02	0.56316E-04	0.10534E-02
11	0.86922E-04	-0.17551E-02	0.11669E-02	0.21094E-02
12	0.10680E-03	-0.57917E-03	0.42358E-03	0.72545E-03
13	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
14	0.30798E-03	-0.10382E-02	-0.24866E-02	0.27121E-02
15	0.58614E-04	-0.18291E-02	-0.15495E-02	0.23979E-02
16	-0.20859E-03	-0.61126E-03	-0.27316E-02	0.28069E-02

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES

NODE	6	3	8	7
VALUE	0.46476E-03	-0.32908E-02	-0.27316E-02	0.36375E-02

Chương 3
KẾT CẤU DẦM VÀ KHUNG

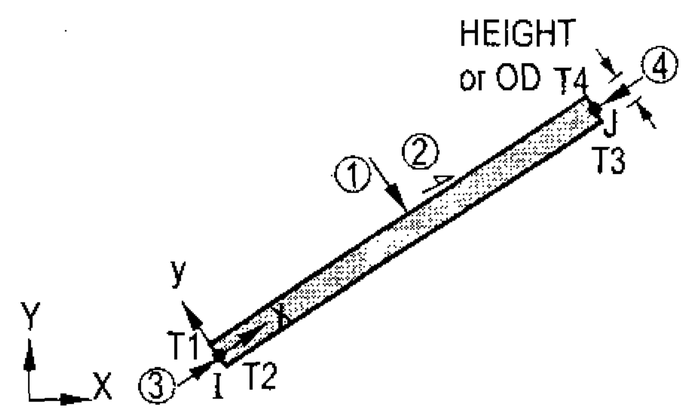
3.1. KẾT CẤU DẦM VÀ KHUNG

Thanh là vật thể lăng trụ có kích thước hai cạnh rất nhỏ so với cạnh thứ ba, mặt cắt thẳng góc với cạnh dài được gọi là mặt cắt ngang hay tiết diện của thanh. Thông thường các thanh có mặt cắt ngang không đổi dọc theo chiều dài thanh, cũng có thanh có mặt cắt ngang thay đổi. Đường nối liền trọng tâm của mặt cắt ngang được gọi là trục thanh. Tùy theo trục thanh là đường thẳng, đường cong hay gấp khúc, ta có thanh thẳng, thanh cong hay thanh gấp khúc, thanh chịu uốn được gọi là dầm. Khung được cấu tạo bởi các thanh thẳng liên kết với nhau bằng các nút ở hai đầu thanh, các phần tử của khung có thể có tiết diện đều hoặc thay đổi dọc theo đường trục của thanh, đường trục của thanh thường là đường trọng tâm tiết diện, cũng có thể lệch với đường trọng tâm tiết diện. Các phần tử của khung liên kết với nhau và liên kết với nền công trình có thể là liên hết khớp, liên kết cứng hoặc liên kết nửa cứng. Với dầm và khung phẳng thường được mô hình hóa bằng các phần tử BEAM3, dầm và khung trên nền đàn hồi được mô hình hóa bằng phần tử BEAM54. Với dầm và khung không gian thường được mô hình hóa bằng các phần tử BEAM4, BEAM44, phần tử lò xo COMBIN14.

3.2. PHẦN TỬ DẦM (BEAM)

3.2.1. Phần tử BEAM3

BEAM3 là phần tử 2 chiều chỉ có thể chịu kéo, nén dọc trục và chịu uốn, có 2 nút ở hai đầu, mỗi nút có 3 độ tự do là chuyển vị theo phương X, Y và xoay quanh trục Z, thường dùng để mô phỏng dầm, khung phẳng trong kết cấu công trình.



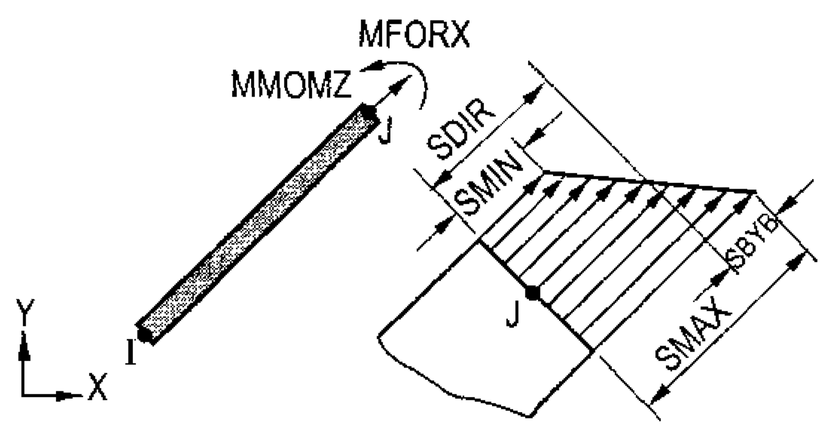
Hình 3.1. Phần tử dầm 2 chiều BEAM3

Số liệu đầu vào

Hình dạng hình học, vị trí điểm nút, hệ tọa độ tổng thể và cục bộ cho ở hình 3.1. Số liệu đầu vào của phần tử BEAM3 cho ở bảng 3.1.

Số liệu đầu ra

Số liệu đầu ra của phần tử BEAM3 bao gồm chuyển vị và ứng suất tại các điểm nút được biểu thị ở bảng 3.2 và hình 3.2.



Hình 3.2. Ứng suất đầu ra

Bảng 3.1. Số liệu đầu vào của phần tử BEAM3

Tên	BEAM3
Điểm nút	I, J
Độ tự do	UX, UY, ROTZ
Hằng số thực	AREA, IZZ, HEIGHT,SHEARZ, ADDMAS
Tải trọng khối	Nhiệt độ: T1, T2, T3, T4
Tải trọng bề mặt	Áp lực Mặt 1 (I-J) (phương pháp tuyến -Y) Mặt 2 (I-J) (phương tiếp tuyến +X) Mặt 3 (I) (phương dọc trục +X) Mặt 4 (J) (phương dọc trục -X)
Đặc tính	Ứng suất cứng hóa, biến dạng lớn, phần tử sinh và chết
KEYOPT(6)	Lực và mômen đầu ra: 0 - Không xuất lực và mômen 1 - Xuất lực và mômen trong hệ tọa độ phần tử
KEYOPT(9)	Xuất kết quả số điểm N giữa nút I và J (N = 0, 1, 3, 5, 7, 9)
KEYOPT(10)	Dùng lệnh SFBEAM gán vị trí tải trọng cùng với khoảng cách từ đầu I tới tải trọng phân bố 0 - Giá trị chiều dài đoạn này có đơn vị là độ dài 1 - Giá trị chiều dài đoạn này có đơn vị là tỷ số độ dài (từ 0 đến 1.0)

Bảng 3.2. Số liệu đầu ra của phần tử BEAM3

Tên gọi	Định nghĩa
EL	Mã phần tử
NODES	Mã nút I, J của phần tử
MAT	Mã vật liệu
VOLU	Thể tích
XC, YC	Tọa độ trọng tâm của phần tử
TEMP	Nhiệt độ
PRES	Áp lực
SDIR	Ứng suất do lực dọc trục của phần tử dầm
SBYT	Ứng suất do uốn tại mép +Y của phần tử dầm
SBYB	Ứng suất do uốn tại mép -Y của phần tử dầm
SMAX	Ứng suất lớn nhất (ứng suất dọc trục + ứng suất do uốn)
SMIN	Ứng suất nhỏ nhất (ứng suất dọc trục - ứng suất do uốn)
EPELDIR	Biến dạng đàn hồi doc trục của phần tử dầm

Bảng 3.2 (tiếp theo)

Tên gọi	Định nghĩa
EPELBYT	Biến dạng do uốn tại mép +Y của phần tử dầm
EPELBYB	Biến dạng do uốn tại mép -Y của phần tử dầm
EPTHDIR	Biến dạng nhiệt dọc trục tại điểm cuối
EPTHBYT	Biến dạng nhiệt sinh uốn tại mép +Y của phần tử dầm
EPTHBYB	Biến dạng nhiệt sinh uốn tại mép -Y của phần tử dầm
EPINAXL	Biến dang dọc truc ban đầu trong phần tử
MFOR(X,Y)	Các lực thành phần theo phương X, Y hệ tọa độ phần tử
MMOMZ	Mômen đối với trục Z của hệ tọa độ phần tử

3.2.2. Phần tử BEAM54

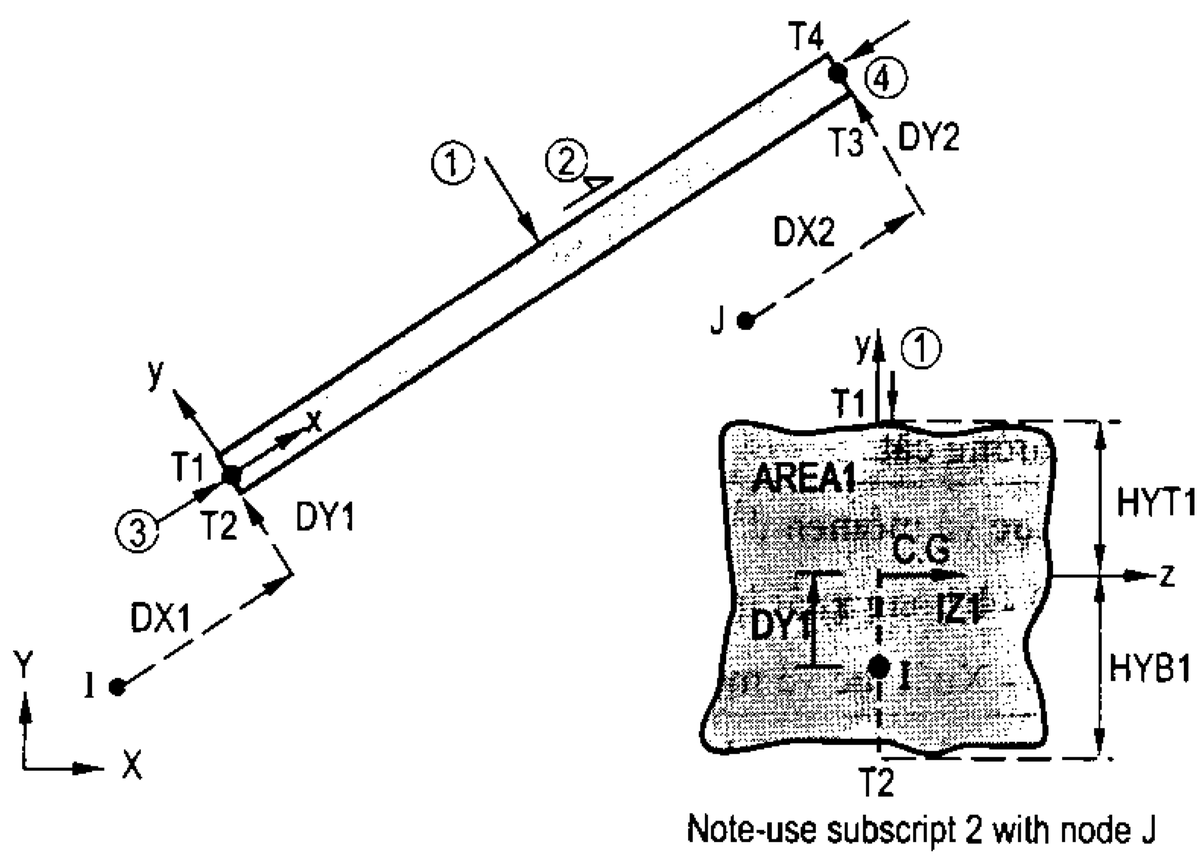
Phần tử BEAM54 là dầm 2 chiều có thể chịu kéo, nén dọc trục và chịu uốn, có 2 nút ở hai đầu, mỗi nút có 3 độ tự do, trong đó có 2 chuyển vị thẳng theo các phương X, Y và 1 chuyển vị xoay quanh Z và thường dùng để mô phỏng kết cấu khung phẳng trong công trình đặt trên nền đàn hồi

Số liệu đầu vào

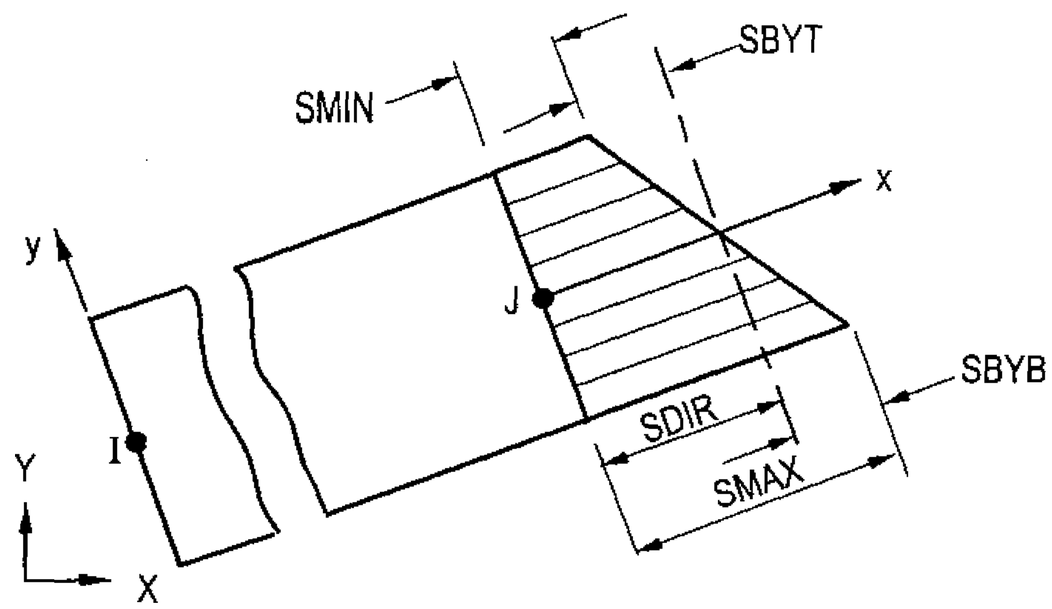
Hình dạng hình học, vị trí điểm nút, hệ tọa độ tổng thể và cục bộ cho ở hình 3.3. Số liệu đầu vào của phần tử BEAM54 cho ở bảng 3.4.

Số liệu đầu ra

Số liệu đầu ra của phần tử BEAM54 bao gồm chuyển vị và ứng suất tại các điểm nút được biểu thị ở hình 3.4 và bảng 3.4.



Hình 3.3. Phần tử dầm BEAM54



Hình 3.4. Ứng suất đầu ra

Bảng 3.3. Số liệu đầu vào của phần tử BEAM54

Số liệu vào	BEAM54
Điểm nút	I, J
Độ tự do	UX, UY, ROTZ
Hằng số thực	AREA, IZ, HYT, HYB, AREA, AREAS, . . ., EFS, ISTRN, ADDMAS
Vật liệu	EX, ALPX, DENS, GXY, DAMP
Tải trọng bề mặt	Áp lực Mặt 1 (I-J) (phương pháp tuyến -Y) Mặt 2 (I-J) (phương tiếp tuyến +X) Mặt 3 (I) (phương trục +X) Mặt 4 (J) (phương trục -Y)
Tải trọng khối	Nhiệt độ: T1, T2, T3, T4
Đặc tính	Ứng suất cứng hóa, biến dạng lớn, phần tử sinh và chết
KEYOPT(6)	Lựa chọn ứng suất cứng hóa 0 - Khi mở NLGEOM, sử dụng ma trận độ cứng hướng cắt chính 1- Khi mở NLGEOM và SOLCONTROL, sử dụng cùng ma trận độ cứng hướng cắt 2 - Khi đóng SOLCONTROL, không sử dụng cùng ma trận độ cứng hướng cắt
KEYOPT(9)	Lực và mômen đầu ra: 0 - Không xuất lực và mômen 1 - Xuất lực và mômen trong hệ tọa độ phần tử
KEYOPT(10)	Dùng lệnh SFBEAM gán tải trọng bề mặt 0 - Số liệu gán có đơn vị là độ dài 1 - Số liệu gán có đơn vị là tỷ số độ dài

Bảng 3.4. Số liệu đầu vào của phần tử BEAM54

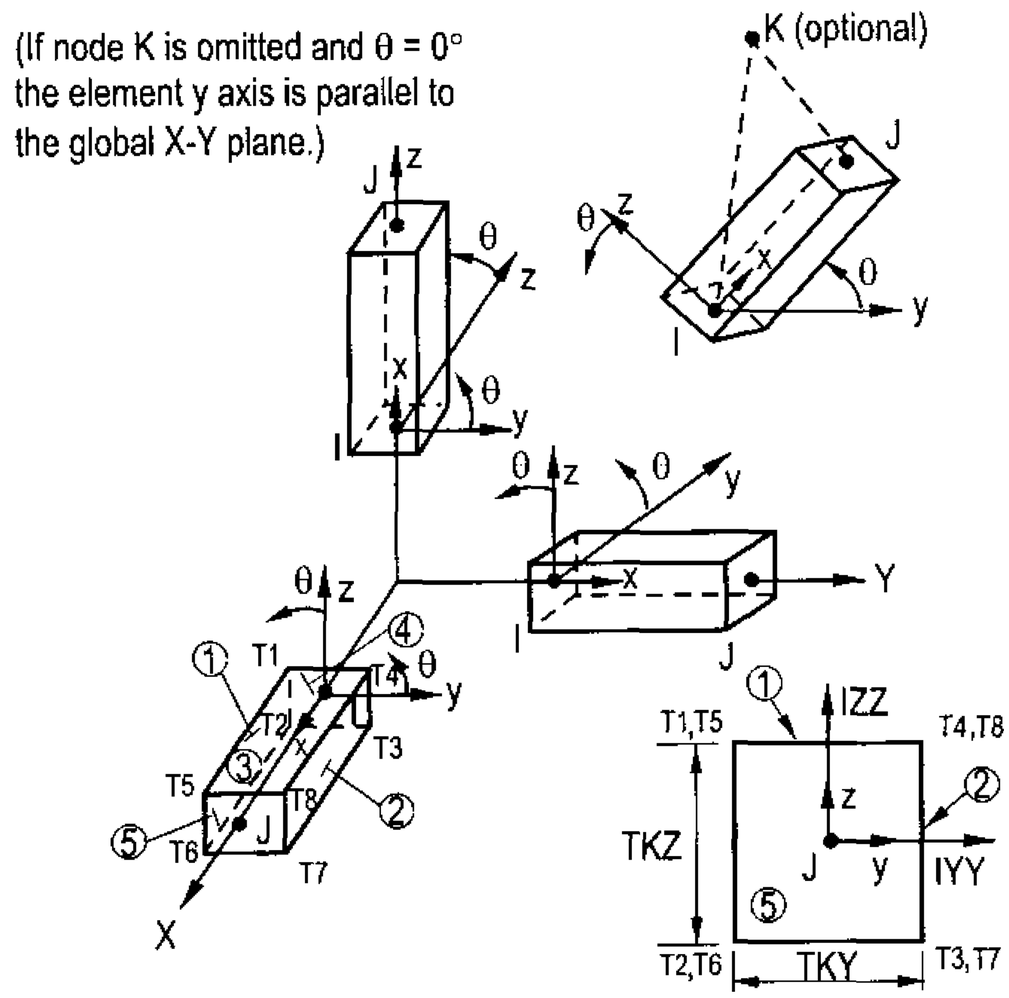
Ký hiệu	Định nghĩa
EL	Mã phần tử
NODES	Mã các nút - I, J
MAT	Mã vật liệu
XC, YC	Tọa độ trọng tâm của phần tử
TEMP	Nhiệt độ
PRES	Áp lực
SDIR	Ứng suất do lực dọc trục của phần tử dầm
SBYT	Ứng suất do uốn tại mép +Y của phần tử dầm
SBYB	Ứng suất do uốn tại mép -Y của phần tử dầm
SMAX	Ứng suất lớn nhất (ứng suất dọc trục + ứng suất do uốn)
SMIN	Ứng suất nhỏ nhất (ứng suất dọc trục - ứng suất do uốn)
EPELDIR	Ứng suất do uốn tại mép -Y của phần tử dầm
EPELBYT	Biến dạng do uốn tại mép +Y của phần tử dầm
EPELBYB	Biến dạng do uốn tại mép -Y của phần tử dầm
EPTHDIR	Biến dạng nhiệt dọc trục tại điểm cuối
EPTHBYT	Biến dạng nhiệt sinh uốn tại mép +Y của phần tử dầm
EPTHBYB	Biến dạng nhiệt sinh uốn tại mép -Y của phần tử dầm
EPINAXL	Biến dạng dọc trục ban đầu trong phần tử
SXY	Lực cắt trung bình (phương Y)
MFOR(X,Y)	Các lực thành phần theo phương X, Y hệ tọa độ phần tử
MMOMZ	Mômen đối với trục Z của hệ tọa độ phần tử

3.2.3. Phần tử BEAM4

Phần tử BEAM4 là dầm 3 chiều có thể chịu kéo, nén dọc trục, chịu xoắn và uốn, có 2 nút I, J ở hai đầu, mỗi nút có 6 độ tự do, trong đó có 3 chuyển vị thẳng theo các phương X,Y,Z và 3 chuyển vị xoay quanh các trục X, Y, Z và thường dùng để mô phỏng kết cấu khung không gian.

Số liệu đầu vào

Hình dạng hình học, vị trí điểm nút, hệ tọa độ tổng thể và cục bộ cho ở hình 3.5. Số liệu đầu vào của phần tử BEAM4 cho ở bảng 3.5.



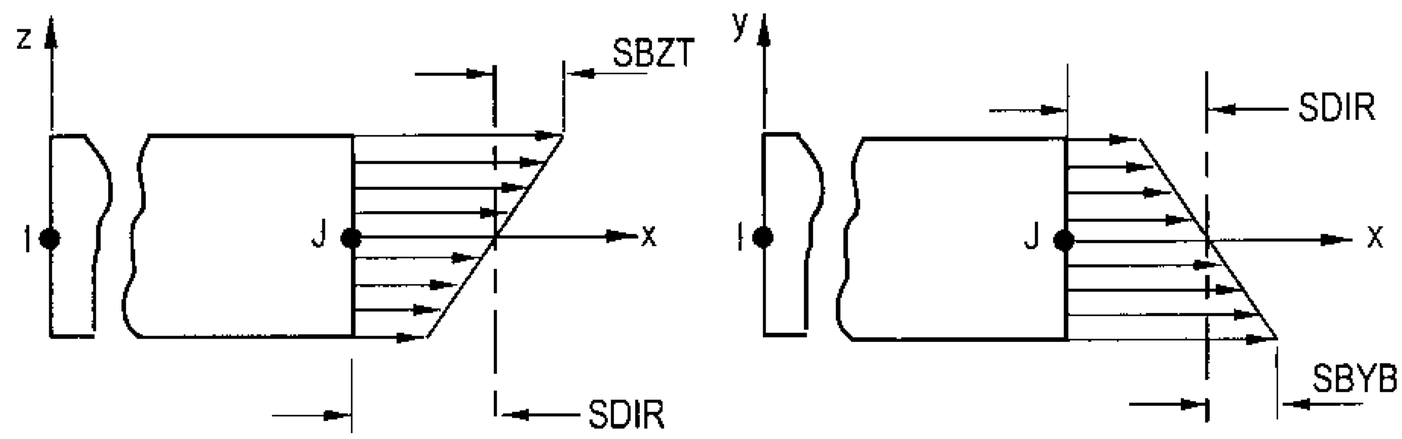
Hình 3.5. Phần tử dầm 3 chiều BEAM4

Bảng 3.5. Số liệu đầu vào của phần tử BEAM4

Số liệu vào	BEAM4
Điểm nút	I, J, K (K là nút định vị)
Độ tự do	UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ
Hằng số thực	AREA, IXX, IYY, IZZ, HEIGHT,SHEARZ, ADDMAS
Tải trọng bề mặt	Áp lực
Tải trọng khối	Nhiệt độ:
Đặc tính	Ứng suất cứng hóa, biến dạng lớn, phần tử sinh và chết
KEYOPT(2)	Lựa chọn ứng suất cứng hóa 0 - Khi mở NLGEOM, sử dụng ma trận độ cứng hướng cắt chính 1- Khi mở NLGEOM và SOLCONTROL, sử dụng cùng ma trận độ cứng hướng cắt 2 - Khi đóng SOLCONTROL, không sử dụng cùng ma trận độ cứng hướng cắt
KEYOPT(6)	Lực và mômen đầu ra: 0 - Không xuất lực và mômen 1 - Xuất lực và mômen trong HTĐ phần tử
KEYOPT(6)	Ma trận xoay tắt dần: 0 - Không xét ma trận xoay tắt dần 1 - Xét ma trận xoay tắt dần
KEYOPT(9)	Xuất kết quả với N điểm nút giữa I và J (N = 0, 1, 3, 5, 7)
KEYOPT(10)	Dùng lệnh SFBEAM gán tải trọng bề mặt 0 - Giá trị gán có đơn vị là độ dài 1 - Giá trị gán có đơn vị là tỷ số độ dài

Số liệu đầu ra

Số liệu đầu ra của phần tử BEAM4 bao gồm chuyển vị và ứng suất tại các điểm nút được biểu thị ở hình 3.6 và bảng 3.6.



Hình 3.6. *Ứng suất đầu ra của phần tử BEAM4*

Bảng 3.6. Số liệu đầu ra của phần tử BEAM4

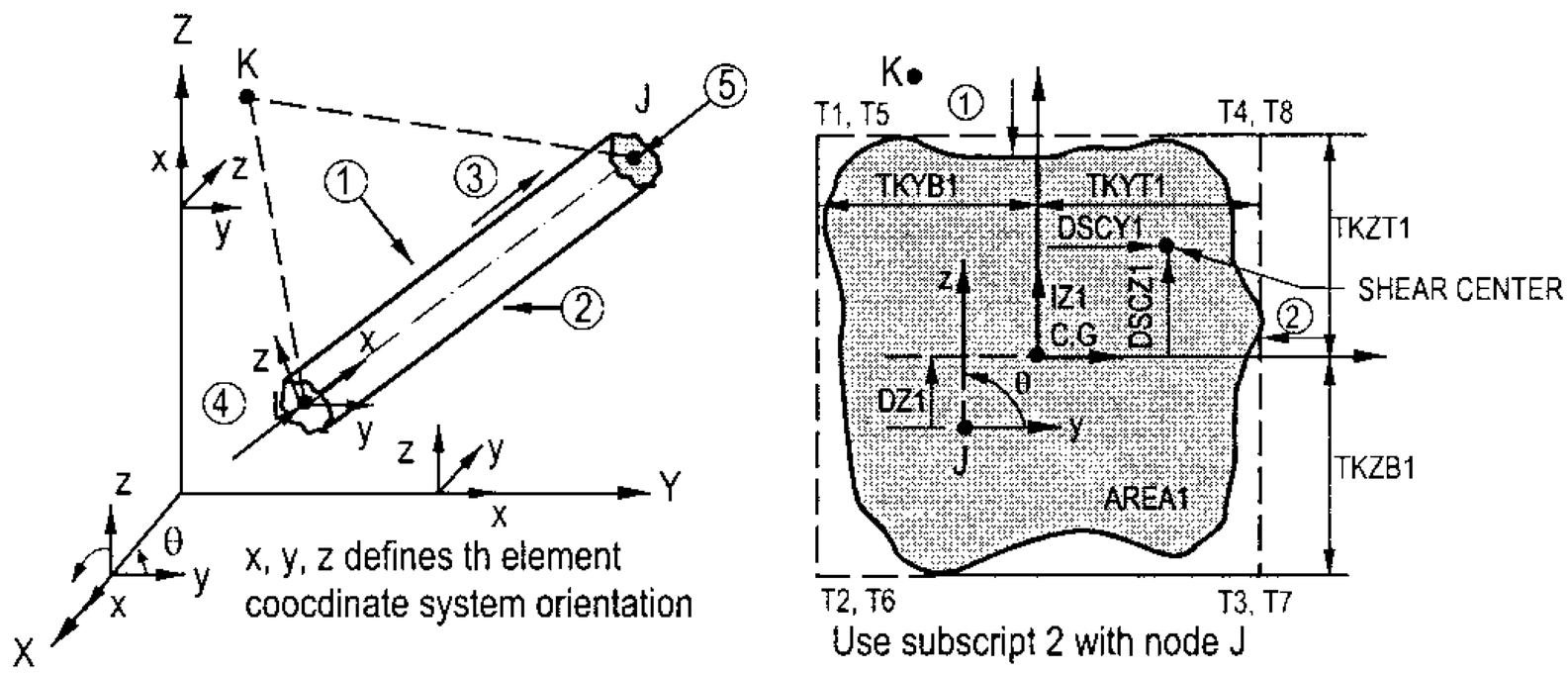
Tên gọi	Định nghĩa
EL	Mã phần tử
NODES	Mã các nút - I, J
MAT	Mã vật liệu
XC, YC	Tọa độ trọng tâm của phần tử
TEMP	Nhiệt độ
PRES	Áp lực
SDIR	Ứng suất do lực dọc trục của phần tử dầm
SBYT	Ứng suất do uốn tại mép +Y của phần tử dầm
SBYB	Ứng suất do uốn tại mép -Y của phần tử dầm
SBZT	Ứng suất do uốn tại mép +Z của phần tử dầm
SBZB	Ứng suất do uốn tại mép -Z của phần tử dầm
SMAX	Ứng suất lớn nhất (ứng suất dọc trục + ứng suất do uốn)
SMIN	Ứng suất nhỏ nhất (ứng suất dọc trục - ứng suất do uốn)
EPELDIR	Biến dạng đàn hồi do lực dọc trục của phần tử dầm
EPELBYT	Biến dạng do uốn tại mép +Y của phần tử dầm
EPELBYB	Biến dạng do uốn tại mép -Y của phần tử dầm
EPELBZT	Biến dạng do uốn tại mép +Z của phần tử dầm
EPELBZB	Biến dạng do uốn tại mép -Z của phần tử dầm
EPTHDIR	Biến dạng nhiệt dọc trục tại đầu phần tử dầm
EPTHBYT	Biến dạng nhiệt sinh uốn tại mép +Y của phần tử dầm
EPTHBYB	Biến dạng nhiệt sinh uốn tại mép -Y của phần tử dầm
EPINAXL	Biến dạng dọc trục ban đầu trong phần tử
SXY	Lực cắt trung bình (phương Y)
MFOR(X,Y)	Các lực thành phần theo phương X, Y hệ tọa độ phần tử
MMOMZ	Mômen đối với trục Z của hệ tọa độ phần tử

3.2.4. Phần tử BEAM44

Phần tử BEAM44 là dầm 3 chiều có thể chịu kéo, nén dọc trục, chịu xoắn và uốn, có 2 nút I, J (1, 2) ở hai đầu, mỗi nút có 6 độ tự do, trong đó có 3 chuyển vị thẳng theo các phương X, Y, Z và 3 chuyển vị xoay quanh các trục X, Y, Z và thường dùng để mô phỏng kết cấu khung không gian trong công trình xây dựng. Phần tử này cho phép có đặc trưng hình học không đối xứng khác ở mỗi đầu và cho phép đường trục có độ lệch với trọng tâm tiết diện, cũng có thể dùng phần tử này đối với dầm mặt cắt đều và đối xứng như phần tử BEAM4.

Số liệu đầu vào

Hình dạng hình học, vị trí điểm nút, hệ tọa độ tổng thể, cục bộ và độ lệch trục (Offsets) cho ở hình 3.7. Số liệu đầu vào của phần tử BEAM44 cho ở bảng 3.7.



Hình 3.7. Phần tử dầm BEAM44

Bảng 3.7. Số liệu đầu vào của phần tử BEAM44

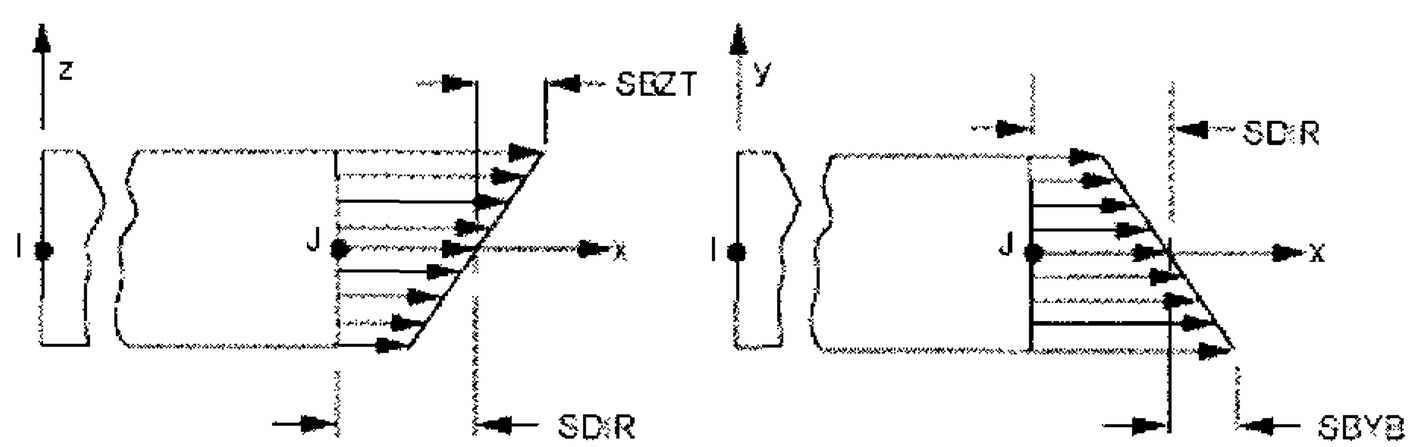
Số liệu vào	BEAM44
Điểm nút	I, J, K (K là nút định vị)
Độ tự do	UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ
Hằng số thực	AREA1, IZ1, IY1, TKZB1,TKYB1, IX1 AREA2, IZ2, IY2, TKZB2,TKYB2, IX2 DX1, DY1, DZ1, DX2, DY2, DZ2 SHEARZ, SHEARY, TKZT1, TKYT1, TKZT2, TKYT2, ADDMAS
Vật liệu	EX, ALPX, DENS, GXY, DAMP
Tải trọng bề mặt	Áp lực Mặt 1 (I-J) (phương pháp tuyến -Z) Mặt 2 (I-J) (phương pháp tuyến -Y) Mặt 3 (I-J) (phương tiếp tuyến +X) Mặt 4 (I) (phương dọc theo +X) Mặt 5 (J) (phương dọc theo -X)

Bảng 3.7 (tiếp theo)

Số liệu vào	BEAM44
Tải trọng khối	Nhiệt độ: T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8
Đặc tính	Ứng suất cứng hóa, biến dạng lớn, phần tử sinh và chết
KEYOPT(2)	Lựa chọn ứng suất cứng hóa 0 - Khi mở NLGEOM, sử dụng ma trận độ cứng hướng cắt chính 1- Khi mở NLGEOM và SOLCONTROL, sử dụng cùng ma trận độ cứng hướng cắt 2 - Khi đóng SOLCONTROL, không sử dụng cùng ma trận độ cứng hướng cắt
KEYOPT(6)	Lực và mômen đầu ra: 0 - Không xuất lực và mômen 1 - Xuất lực và mômen trong hệ tọa độ phần tử
KEYOPT(7)	Nới độ cứng tại nút I: 1 - Nới độ cứng xoay đối với trục Z 10 - Nới độ cứng xoay đối với trục Y 100 - Nới độ cứng xoay đối với trục X 1000 - Nới độ cứng thẳng theo phương trục Z 10000 - Nới độ cứng thẳng theo phương trục Y 100000 - Nới độ cứng thẳng theo phương trục X
KEYOPT(8)	Tương tự KEYOPT(7) nhưng dùng cho nút J
KEYOPT(9)	Xuất kết quả với N điểm ở giữa nút I và J: (N=0, 1, 3, 5, 7, 9)
KEYOPT(10)	Dùng lệnh SFBEAM gán tải trọng bề mặt 0 - Giá trị gán có đơn vị là độ dài 1 - Giá trị gán có đơn vị là tỷ số chiều dài (từ 0 đến 1)

Số liệu đầu ra

Số liệu đầu ra của phần tử BEAM4 bao gồm chuyển vị và ứng suất tại các điểm nút được biểu thị ở hình 3.8 và bảng 3.8.



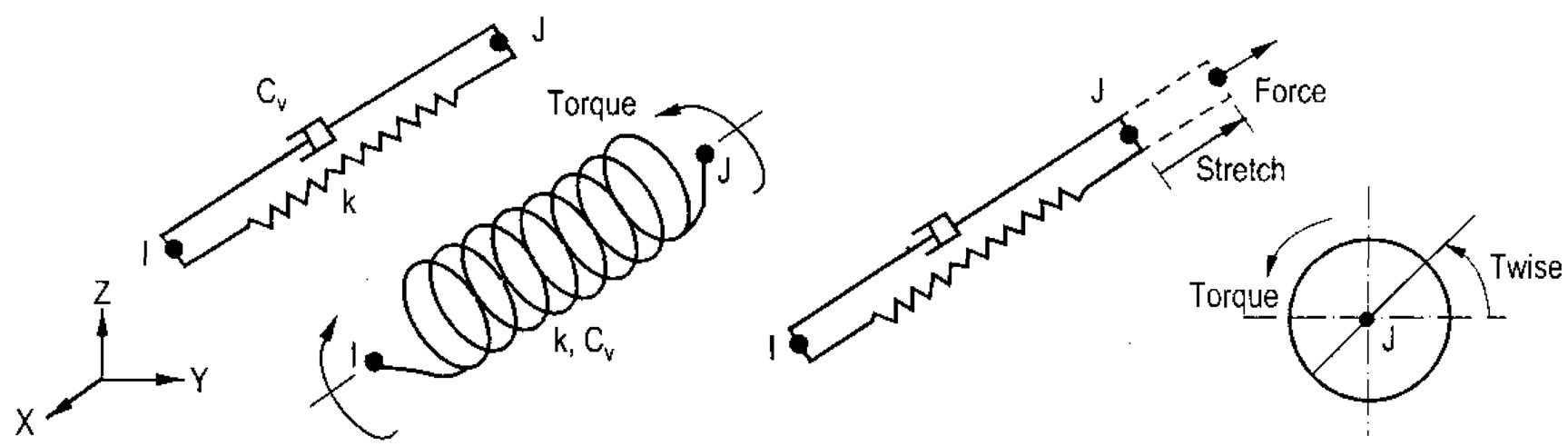
Hình 3.8. *Ứng suất đầu ra của phần tử BEAM44*

Bảng 3.8. Số liệu đầu ra của phần tử BEAM44

Tên gọi	Định nghĩa
EL	Mã phần tử
NODES	Mã các nút - I, J
MAT	Mã vật liệu
XC, YC	Tọa độ trọng tâm của phần tử
TEMP	Nhiệt độ
PRES	Áp lực
SDIR	Ứng suất do lực dọc trục của phần tử dầm
SBYT	Ứng suất do uốn tại mép +Y của phần tử dầm
SBYB	Ứng suất do uốn tại mép -Y của phần tử dầm
SBZT	Ứng suất do uốn tại mép +Z của phần tử dầm
SBZB	Ứng suất do uốn tại mép -Z của phần tử dầm
SMAX	Ứng suất lớn nhất (ứng suất dọc trục + ứng suất do uốn)
SMIN	Ứng suất nhỏ nhất (ứng suất dọc trục - ứng suất do uốn)
EPELDIR	Biến dạng đàn hồi do lực dọc trục của phần tử dầm
EPELBYT	Biến dạng do uốn tại mép +Y của phần tử dầm
EPELBYB	Biến dạng do uốn tại mép -Y của phần tử dầm
EPELBZT	Biến dạng do uốn tại mép +Z của phần tử dầm
EPELBZB	Biến dạng do uốn tại mép -Z của phần tử dầm
EPTHDIR	Biến dạng nhiệt dọc trục tại đầu phần tử dầm
EPTHBYT	Biến dạng nhiệt sinh uốn tại mép +Y của phần tử dầm
EPTHBYB	Biến dạng nhiệt sinh uốn tại mép -Y của phần tử dầm
EPINAXL	Biến dạng dọc trục ban đầu trong phần tử
SXY	Lực cắt trung bình (phương Y)
MFOR(X,Y)	Các lực thành phần theo phương X, Y hệ tọa độ phần tử
MMOMZ	Mômen đối với trục Z của hệ tọa độ phần tử

3.2.5. Phần tử lò xo COMBIN14

Phần tử lò xo COMBIN14 được biểu thị ở hình 3.9, cho phép sử dụng trong bài toán 1 chiều, 2 chiều và 3 chiều.



Hình 3.9. Phần tử lò xo COMBIN14

Số liệu đầu vào: Số liệu đầu vào của phần tử COMBIN14 cho ở bảng 3.9.
Số liệu đầu ra: Số liệu đầu ra của phần tử COMBIN14 cho ở bảng 3.10.

Bảng 3.9. Số liệu đầu vào của phần tử COMBIN14

Số liệu vào	COMBIN14
Điểm nút	I, J
Độ tự do	UX, UY, UZ KEYOPT (3) = 0 ROTX, ROTY, ROTZ KEYOPT (3) = 1 ROTX, ROTY KEYOPT (3) = 2
Hằng số thực	K, CV1, CV2
Đặc tính vật liệu	DAMP
Tải trọng bề mặt	Không
Tải trọng khối	Không
Đặc tính	Phi tuyến, ứng suất cứng hóa, biến dạng lớn, phần tử sinh và chết
KEYOPT (1)	Loại hình tính toán: 0 - Tính toán tuyến tính 1 - Tính toán phi tuyến (yêu cầu CV2 $\neq$ 0)
KEYOPT(2)	Lựa chọn độ tự do I-D: 0 - Lựa chọn sử dụng KEYOPT(3) 1- Phần tử lò xo - cản hướng dọc I-D (độ tự do là UX) 2 - Phần tử lò xo - cản hướng dọc I-D (độ tự do là UY) 3 - Phần tử lò xo - cản hướng dọc I-D (độ tự do là UZ) 4 - Phần tử lò xo - cản hướng dọc I-D (độ tự do là ROTX) 5 - Phần tử lò xo - cản hướng dọc I-D (độ tự do là ROTY) 6 - Phần tử lò xo - cản hướng dọc I-D (độ tự do là ROTZ) 7 - Độ tự do chịu nén phần tử tự do 8 - Độ tự do nhiệt độ phần tử tự do Lựa chọn độ tự do 2-D hoặc 3-D 0 - Lò xo - cản hướng dọc 3-D 1 - Lò xo - cản dần xoay 3-D 2 - Lò xo - cản dần hướng dọc 2-D (phần tử 2-D nhất thiết phải trong mặt phẳng X-Y)

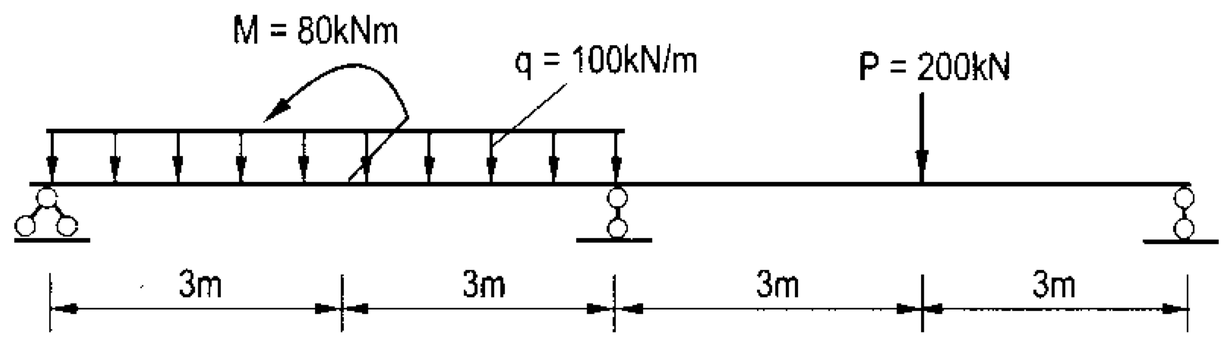
Bảng 3.10. Số liệu đầu ra của phần tử COMBIN14

Tên gọi	Định nghĩa
EL	Mã phần tử
NODES	Mã nút phần tử
XC, YC, ZC	Xuất kết quả tọa độ trọng tâm
FORC, TORQ	Lực hoặc mômen xoắn
STRETCH, TWIST	Lượng dãn dài hoặc xoắn
RATE	Hệ số lò xo
VELOCITY	Nhớt
DAMPING FORCE hoặc TORQUE	

3.3. PHÂN TÍCH KẾT CẤU DẦM VÀ KHUNG

• Ví dụ 3.1. Dầm lên tục hai nhịp

Xác định chuyển vị, mômen uốn, lực cắt của dầm.liên tục 2 nhịp có sơ đồ tính toán cho ở hình 3.10, tiết diện chữ IN^{o}30 có A = 46.5cm^2, mômen quán tính I_z = 7080cm^4, chiều cao dầm h = 30cm. Vật liệu thép CT3 có E = 2.1×10^{8}kN/m^2, μ = 0.3.



Hình 3.10. *Sơ đồ tính toán dầm*

1. Giải theo phương thức GUI

Đặt tên cho bài toán: Từ menu File > Change Title > Xuất hiện bảng Change Title

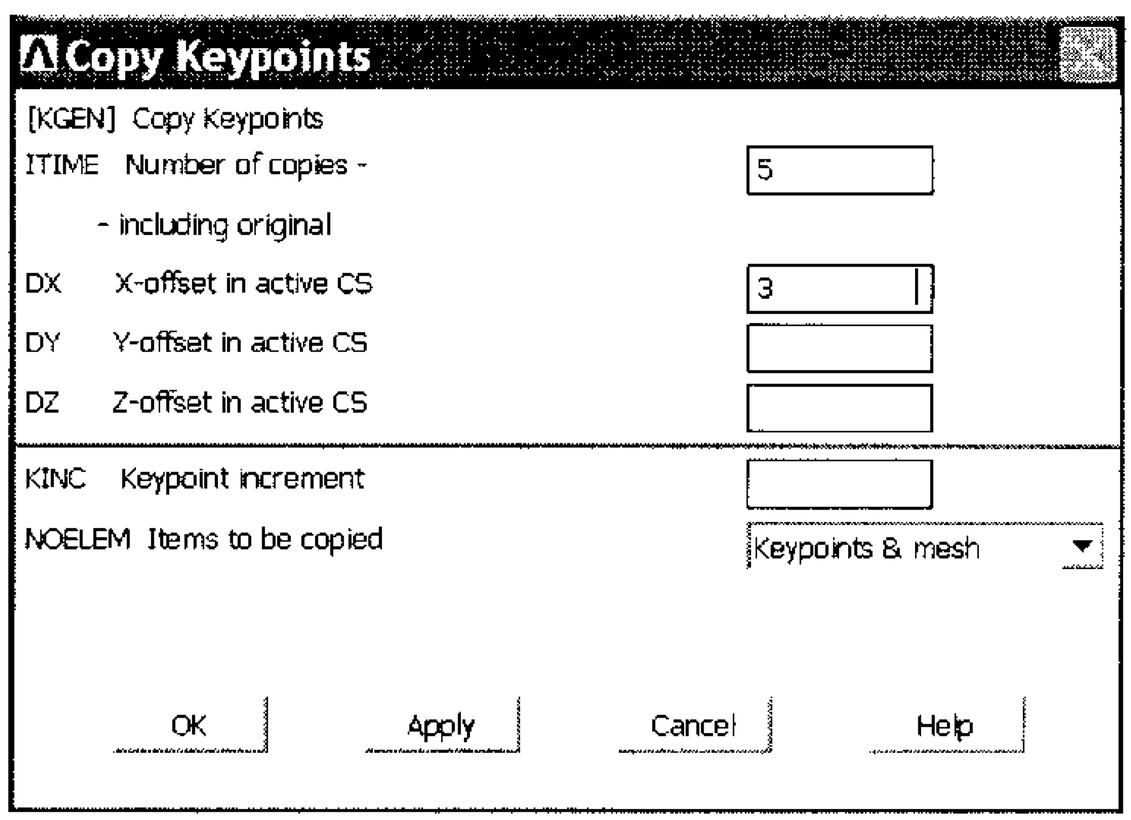
Nhập: Vi du 3.1-Dam lien tuc hai nhip > OK.

Mô hình hóa dầm: Chọn hệ đơn vị là kN, m. Tạo 5 điểm từ menu Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS > Xuất hiện bảng Create Keypoints in Active Coordinate System:

Trước hết tạo nút 1 với tọa độ X=0, Y=0, Z=0 > OK

Sau đó dùng chức năng Copy tạo các điểm 2, 3, 4, 5, từ menu Preprocessor > Modeling > Copy > Keypoint > Nhấn chuột vào điểmt 1 > Apply > Xuất hiện bảng Copy Keypoints như ở hình 3.11 Nhập ITIME=5 (kể cả điểm copy) và copy theo phương X với khoảng cách là DX=3 > Apply, ta có các điểm 1, 2, 3, 4, 5.

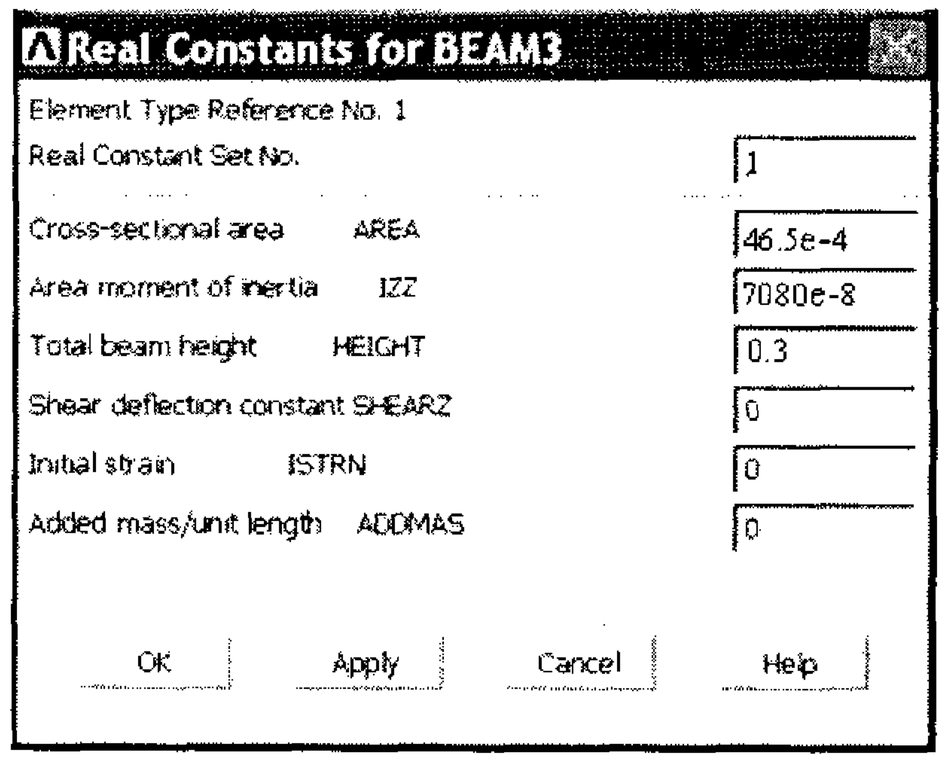
Tiếp đến vẽ các đoạn thẳng từ menu Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Straight Line > Nhấn chuột vào nút 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, ta có 4 đoạn thẳng L1, L2, L3 và L4.



Hình 3.11. *Lệnh copy điểm*

Định nghĩa loại phần tử: Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Element Type > Add > Library of Element Types > Chọn BEAM ở cửa sổ trái và 2D elastic 3 ở cửa sổ phải > OK > Element Type và Beam3 đã được dưa vào danh sách > Option > Beam Element Type Option > Chọn Include Output trong Member Force + Moment Output K6.

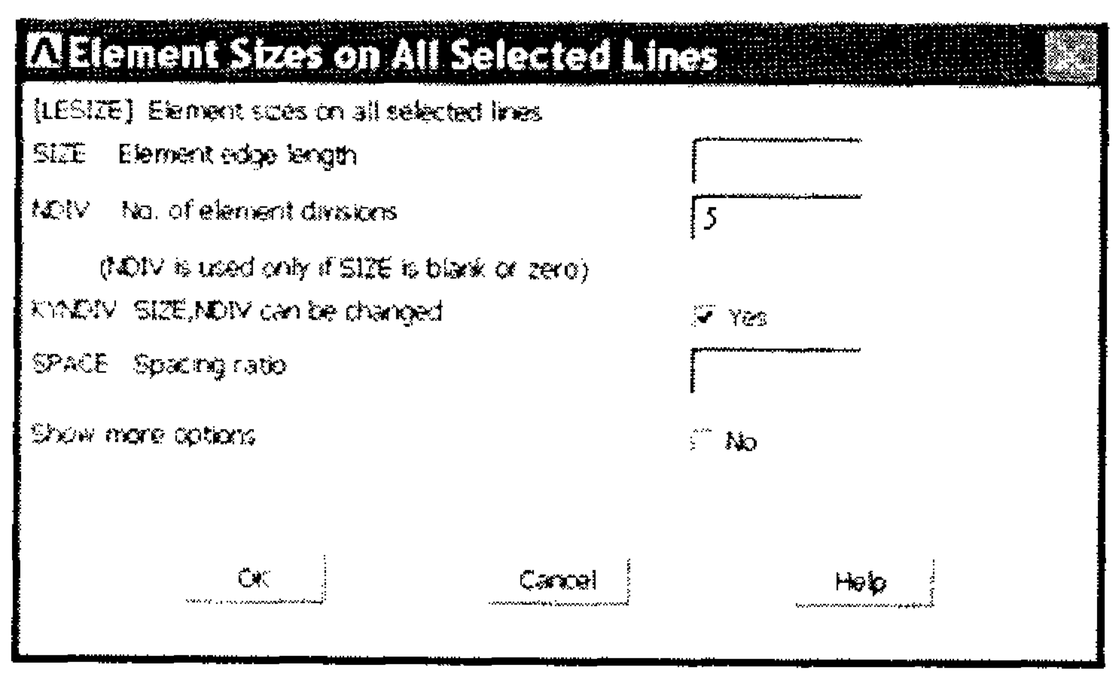
Định nghĩa đặc trưng hình học cho phần tử Beam3: Preprocessor > Real Constants > Add\Edit\Delete > Real Constant Set Number 1, for Beam3 như ở hình 3.12 và nhập các số liệu sau: AREA = 46.5×10^{-4} m^2, Izz = $7080\times10^{-8}m^4$, HEIGHT = 0.30m > OK.



Hình 3.12. *Định nghĩa đặc trưng hình học của Beam3*

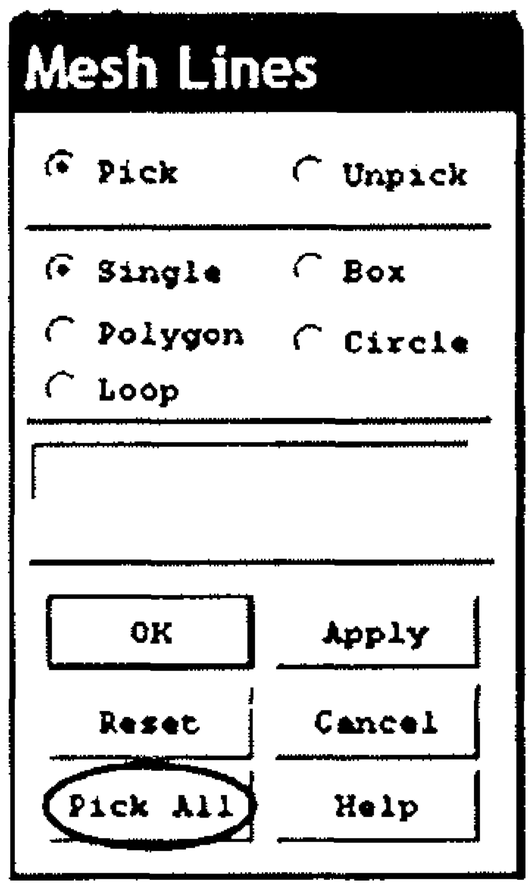
Định nghĩa thuộc tính của vật liệu: Preprocessor > Material Props > Material Model > Define Material Model Behavior > Nhấn nút Structural > Linear > Elastic > Isotropic > Linear Isotropic Properties for Material 1 > Nhập EX = $2.1\times10^8 kN/m^2$ và Poisson PRXY = 0.3 > Material > Exit.

- *Chọn kích thước lưới:* Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > Manual Size > Lines > All Lines > Xuất hiện bảng Element Sizes on All Selected Lines như ở hình 3.13 > Nhập số đoạn phần tử NDIV = 5 > OK.

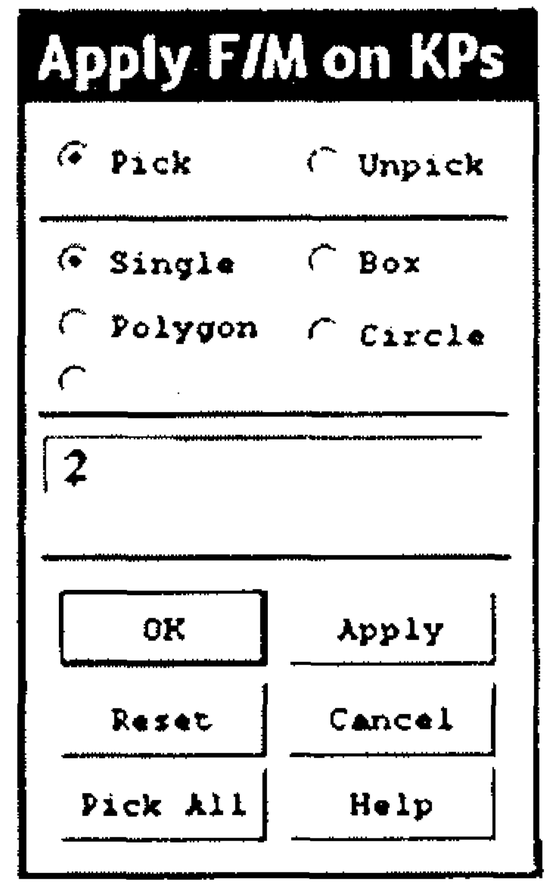


Hình 3.13. *Chọn kích thước phần tử*

- *Chia lưới phần tử:* Preprocessor > Meshing > Mesh > Lines > Xuất hiện bảng Mesh Lines như ở hình 3.14 > Nhấn vào nút Pick All.



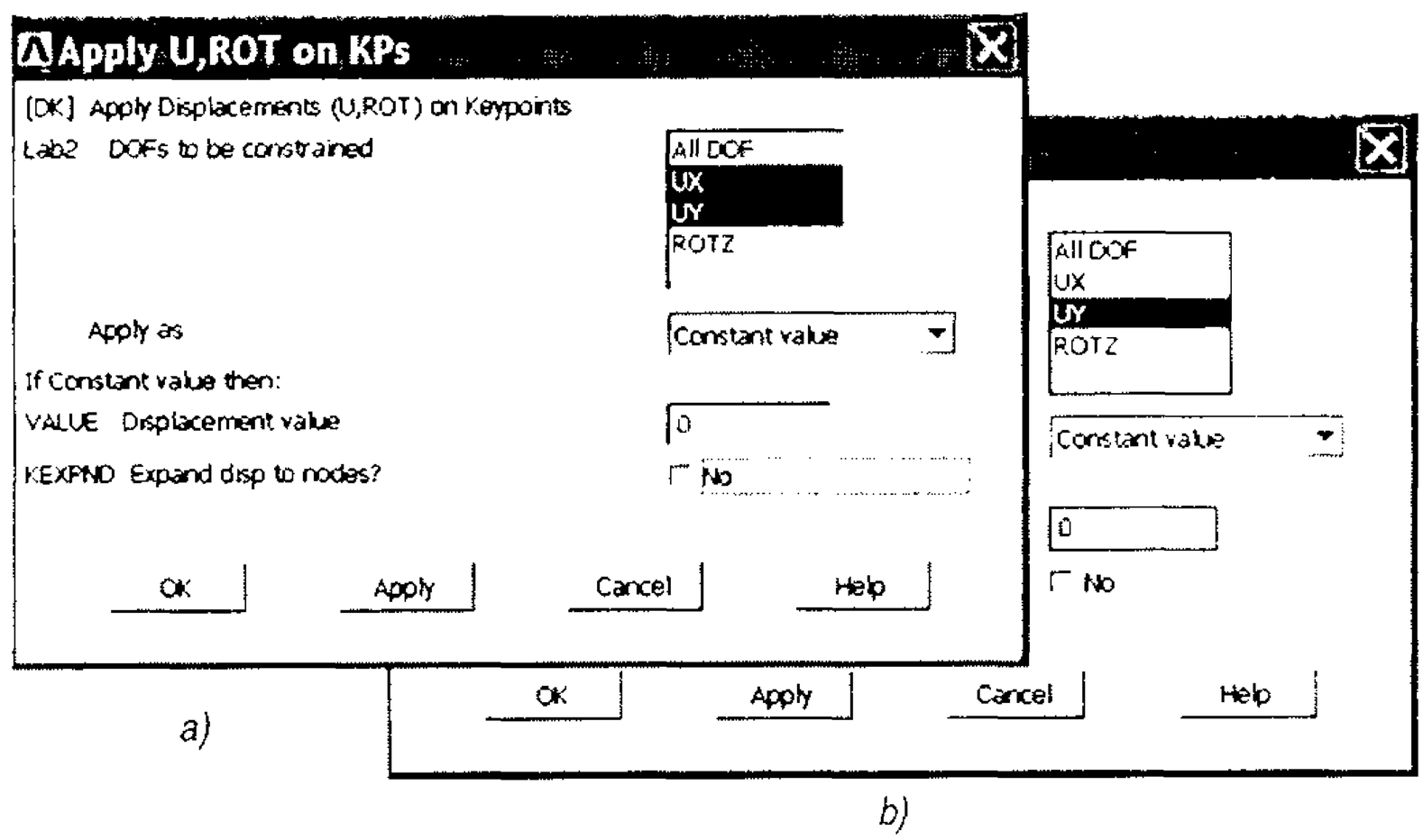
Hình 3.14



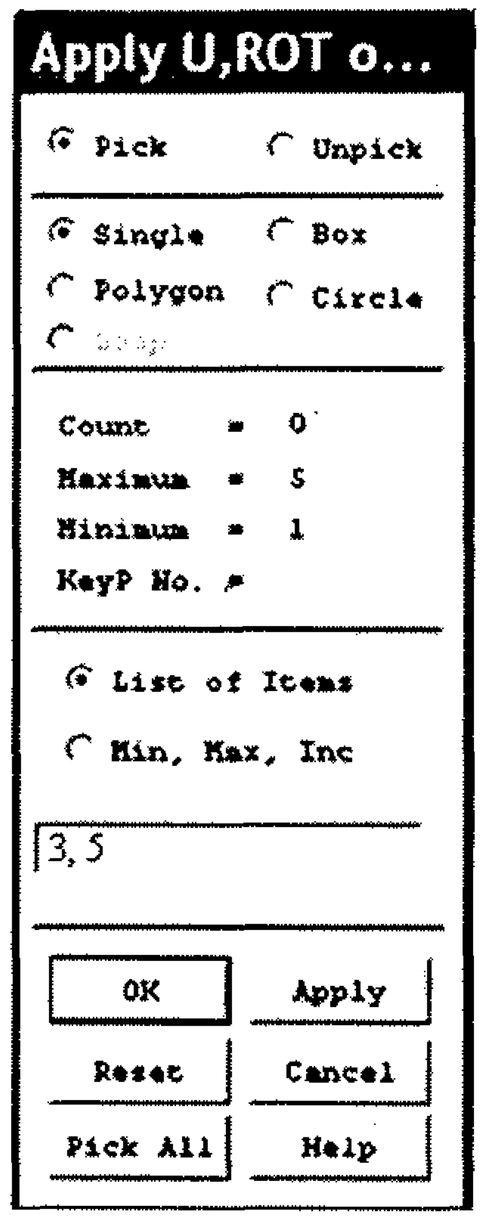
Hình 3.15

- *Chọn kiểu phân tích:* Solution > Analysis Type > New Analysis > Xuất hiện bảng New Analysis > Chọn • Static > OK.

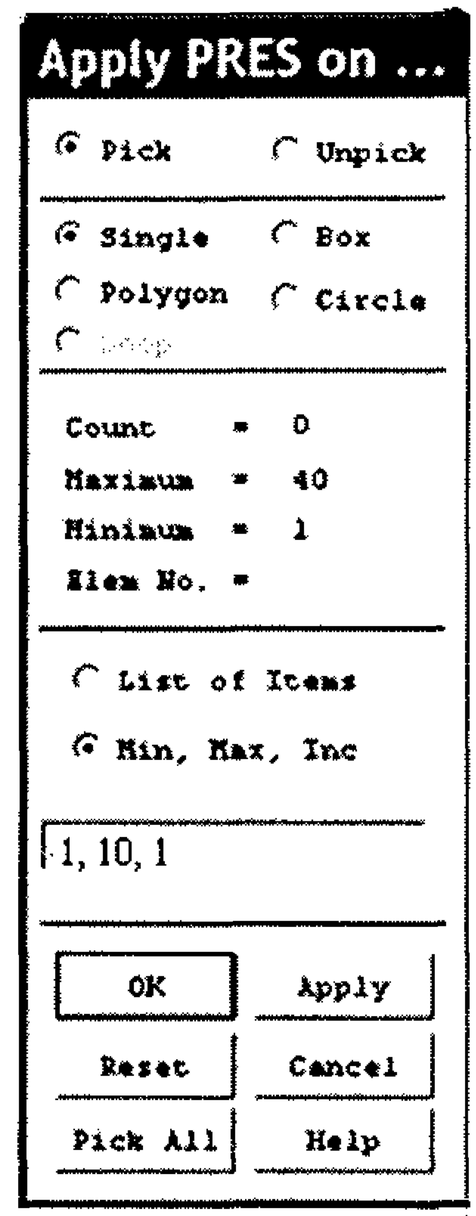
- *Gán liên kết:* Solution > Define Loads > Apply > Displacement > On Keypoints > Chọn điểm 1 > Appy > Apply U, ROT on KPs như ở hình 3.16a > Chọn Ux, Uy > Nhập VALUE = 0 > OK. Chọn điểm 3, 5 hoặc nhập 3, 5 vào bảng Apply U, ROT on KPs như ở hình 3.17 > OK > Chọn Uy > Nhập VALUE = 0 như ở hình 3.16b > OK.



Hình 3.16. *Gán liên kết vào các điểm 1, 4 và 6*



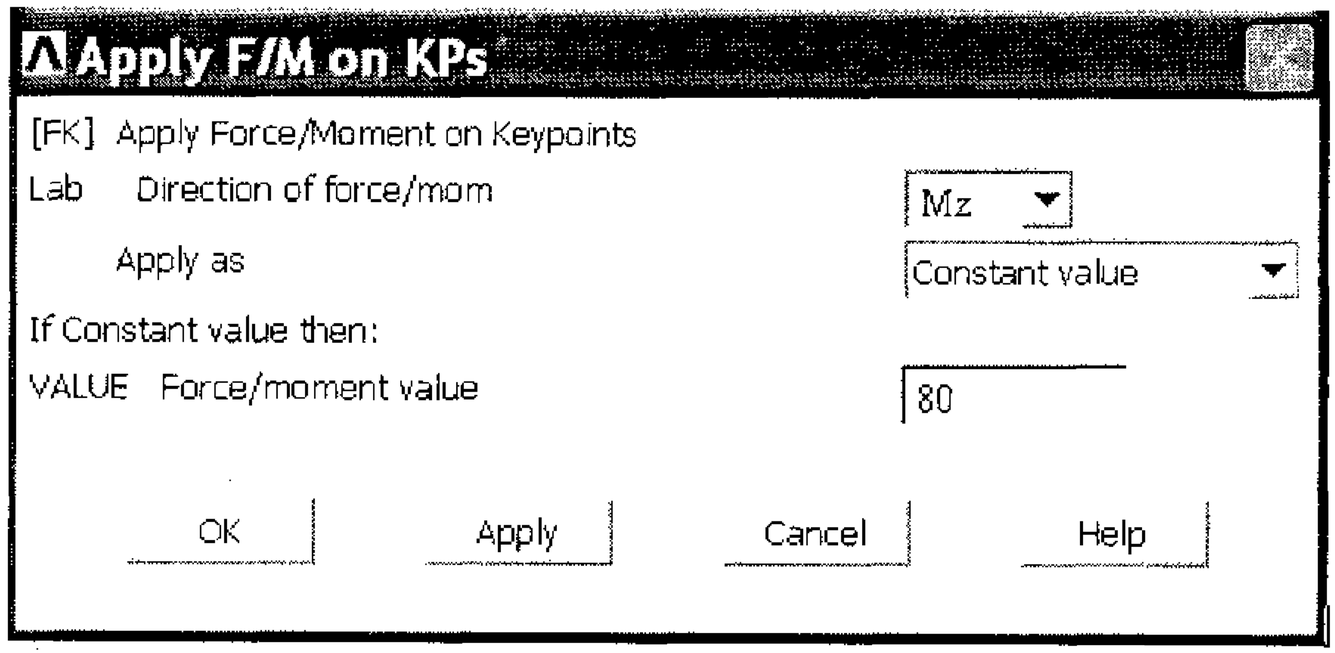
Hình 3.17



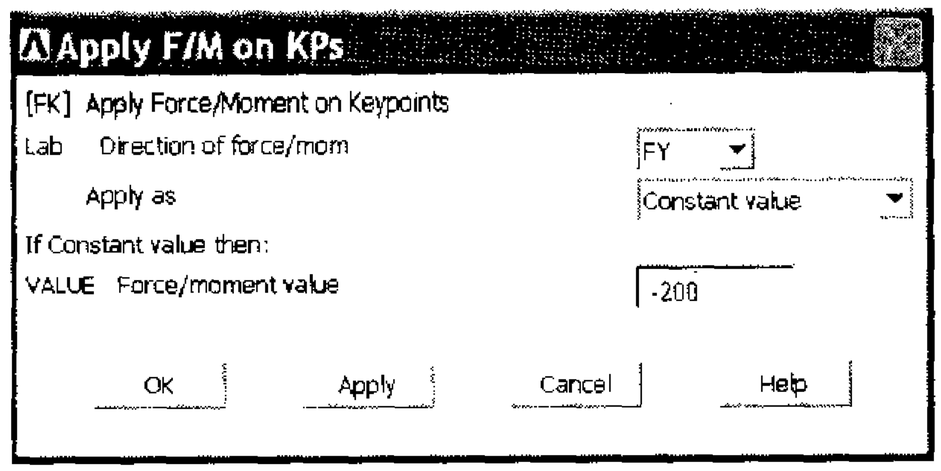
Hình 3.18

- *Gán tải trọng vào dầm:* Trước hết gán tải trọng tập trung từ menu Solution > Define Loads > Structural > Force/Moment > Nhấn chuột vào điểm 2 hoặc nhập số 2 vào bảng Apply F/M on KPs như ở hình 3.15 > Nhấn Apply > Xuất hiện bảng Apply F/M on KPs như ở hình 3.19 > Chọn mômen Mz, nhập giá trị của mômen VALUE = 80 mang dấu dương (+) vì vectơ mômen Mz cùng chiều với trục Z > Apply.

Nhấn chuột vào điểm 4 hoặc nhập số 4 vào bảng Apply F/M on KPs tương tự như trên > OK > Xuất hiện bảng Apply F/M on KPs > Chọn phương của lực P là FY như ở hình 3.20, nhập giá trị của lực VALUE = -200 mang dấu âm (-) vì chiều của lực P ngược chiều với chiều dương của trục Y > OK.

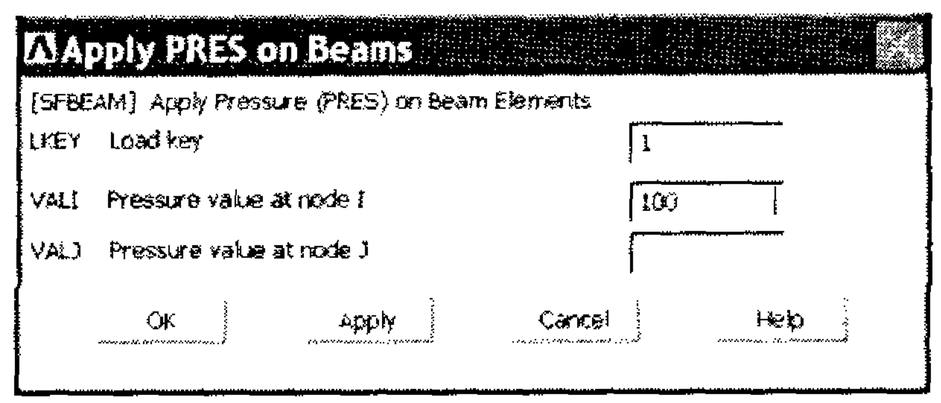


Hình 3.19. *Gán mômen M vào điểm 2 của dầm*



Hình 3.20. *Gán lực P vào điểm 4 của dầm*

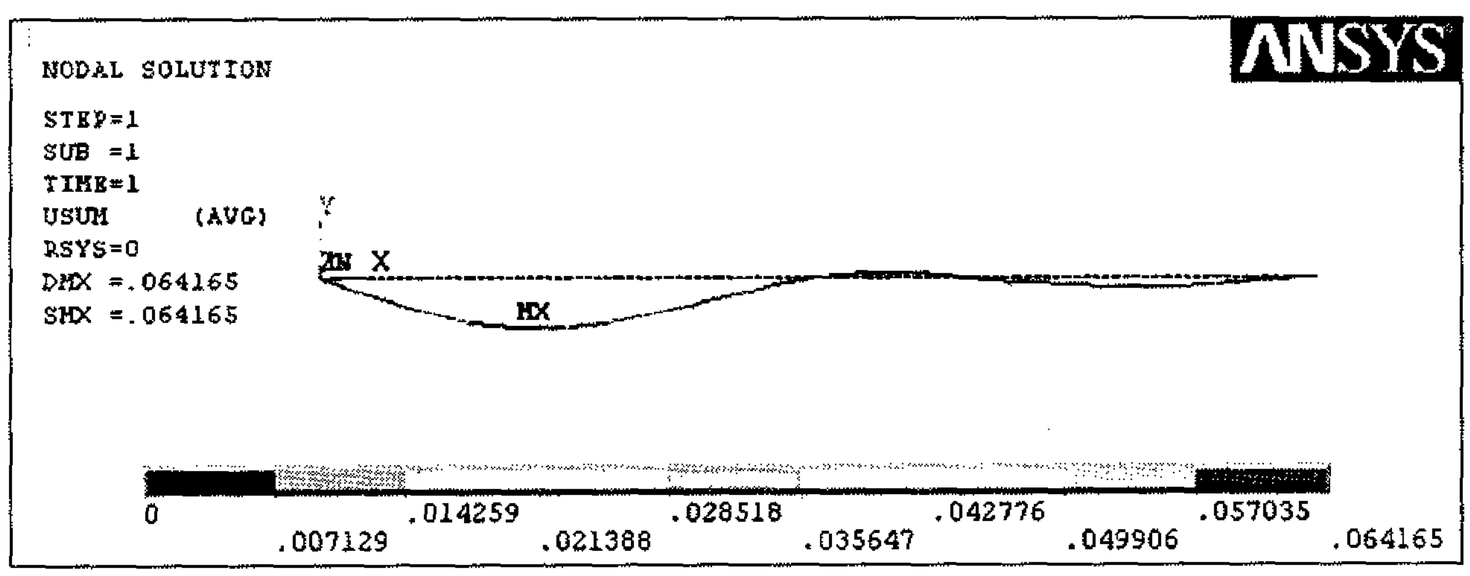
Tiếp đến gán tải trọng phân bố đều, từ Solution > Define Loads > Pressure > On Beams > Apply PRES on Beams > Chọn trực tiếp 10 phần tử Beams ở nhịp thứ nhất (2×5 = 10) hoặc chọn ⊙ Min, Max, Inc và nhập 1, 10, 1 vào bảng Apply Pres on Beams như ở hình 3.18 > OK > Apply PRES on Beams như ở hình 3.21 > Nhập giá trị áp lực tại nút I với VALI=100 mang dấu dương (+) vì chiều lực phân bố hướng vào dầm (ngược chiều với trục y của phần tử) > OK.



Hình 3.21. *Gán tải trọng phân bố vào nhịp 1 của dầm*

- *Chạy chương trình:* Solution > Solve > Currunt LS > Xuất hiện Solution is done thông báo việc giải bài toán đã hoàn thành > Nhấn Close và khai thác kết quả.

- *Chuyển vị của dầm:* General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Nodal Solution > DOF Solution > Displacement Vector SUM, có biểu đồ biến dạng của dầm như ở hình 3.22. Thông báo chuyển vị USUM lớn nhất của dầm là DMX = 0.064165m.

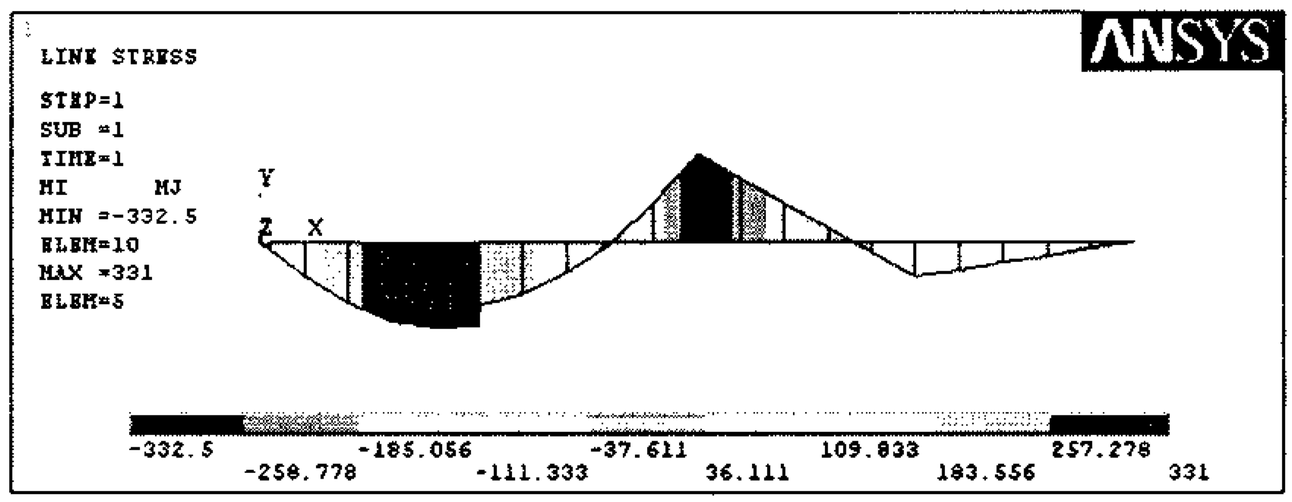


Hình 3.22. *Hình dạng biến dạng của dầm*

- *Biểu đồ mômen uốn:* Trước hết định nghĩa mã nội lực phần tử từ menu General Postprocessor > Element Table > Define Table > Define Additional Element Table Items > Với đối tượng xuất là biểu đồ mômen uốn, nhập mã đầu I là MI với SMISC,6 >

Apply > Nhập mã đầu J là MJ với SMISC,12 > Apply > Với đối tượng xuất là biểu đồ lực cắt, nhập mã đầu I là QI với SMISC, 2 > Apply; nhập mã đầu J là QJ với SMISC, 8.

Sau đó hiển thị biểu đồ mômen uốn từ menu General Postprocessor > Plot Resul > Contour Plot > Line Element Result > Plot Line- Element Results > Chọn mã nội lực ở đầu I là: MI và đầu J là MJ: > OK > Ta có biểu đồ mômen uốn như ở hình 3.23.



Hình 3.23. Biểu đồ mômen uốn

2. Phương thức COMMAND

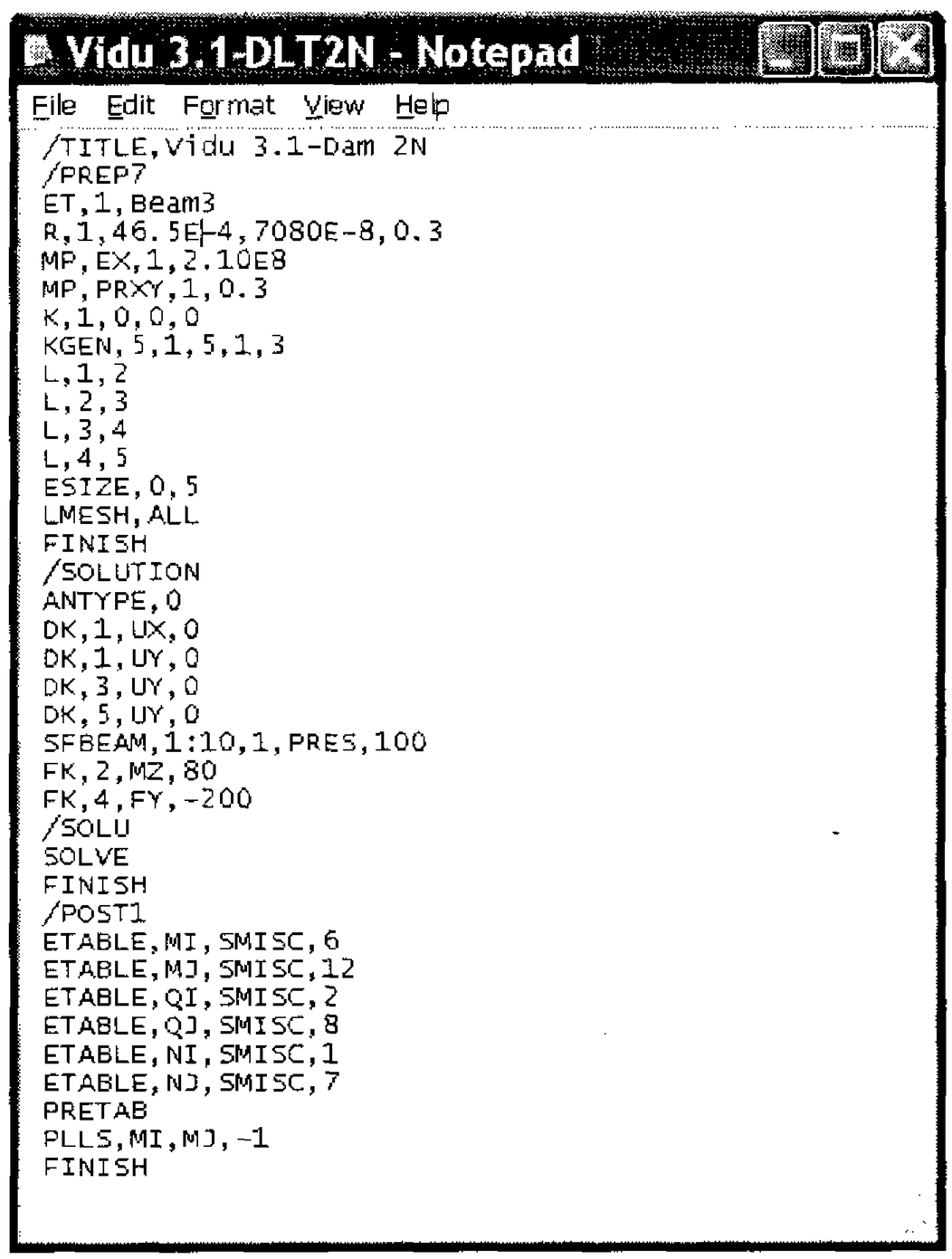
```
/TITLE, Vi du 3.1 Dam lien tục hai nhip
/PREP7
ET,1,BEAM3
R,1,46.5E-04,7080E-08,0.3
MP,EX,1,2.1E+08
MP,PRXY,1,0.3
K,1 0,0,0
KGEN,5,1,5,1,3
L,1,2
L,2,3
L,3,4
L,4,5
ESIZE,0,5
LMESH,ALL
ANTYPE,0
DK,1,ALL
DK,3,UY,0
DK,5,UY,0
FK,2,Mz,80
FK,4,FY,-200
SFBEAM,1:10,1,PRES,100
/SOLU
SOLVE
/POST1
```

ETABLE,MI,SMISC,6
ETABLE,MJ,SMISC,12
ETABLE,QI,SMISC,2
ETABLE,QJ,SMISC,8
FINISH

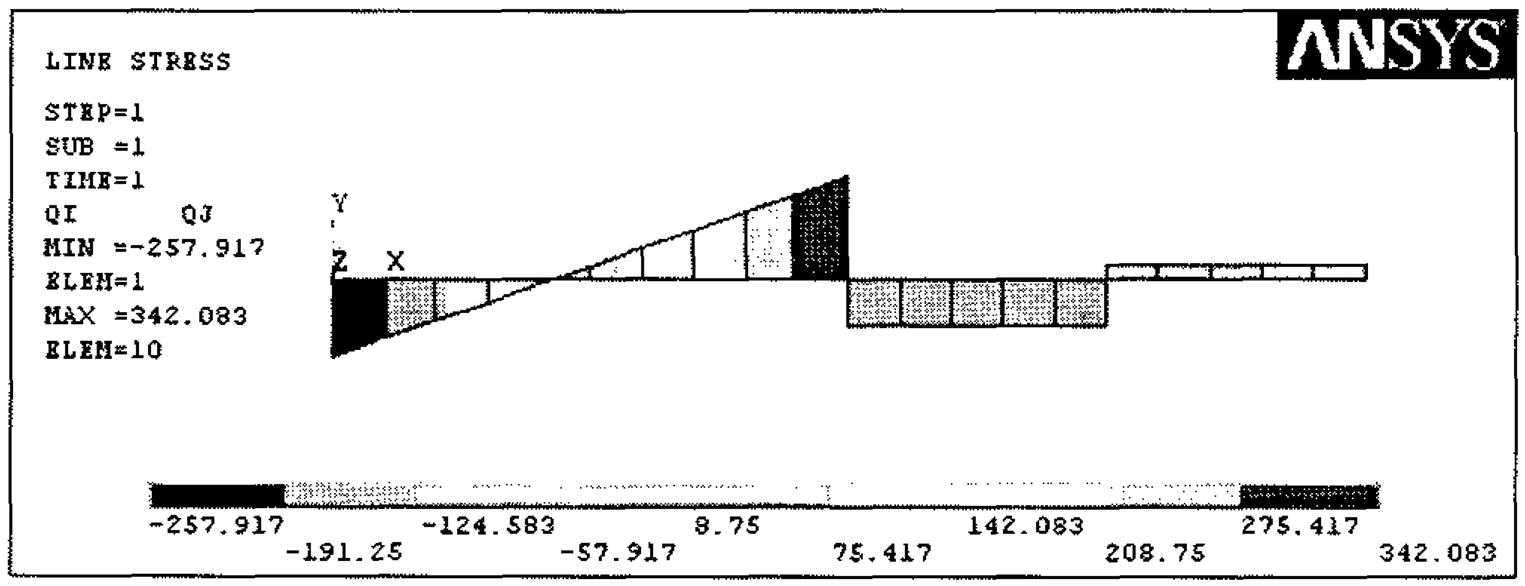
3. Giải theo phương thức APDL

Copy toàn bộ câu lệnh ở trên được soạn thảo trong Word vào phần mềm Notepad có tên file là Vidu 3.1-Dam LT2N.txt được lưu trong ổ D\Thư mục Z.BT-ANSYS (3). Sau đó mở phần mềm ANSYS > Nhấn chuột vào biểu tượng > Xuất hiện bảng New Analysis > Nhập Vidu 3.1-Dam LT2N trong cửa sổ nhỏ ở Analysis Jobname > OK > Nhấn File > Read Input from > Xuất hiện bảng Read File > Nhấn chuột vào D\Chọn thư mục Z.BT-ANSYS (3) ở cửa sổ nhỏ bên phải > Chọn file Vidu 3.1-Dam LT2N.txt ở cửa sổ trái > OK.

Sau khi nhấn OK chương trình sẽ chạy, khi có thông báo Solution is done, công việc tính toán đã xong > Nhấn Close và khai thác kết quả tính toán.



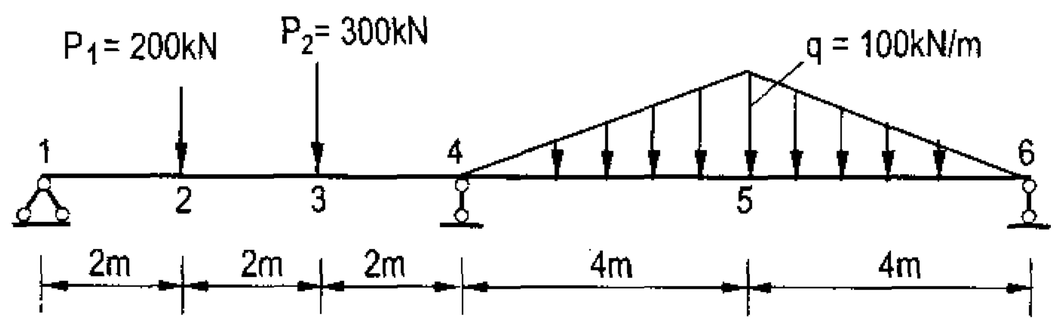
- *Hiển thị biểu đồ cắt:* Cũng thực hiện tương tự như phương thức GUI, chọn mã nội lực ở đầu I là QI và đầu J là QJ > OK, ta có biểu đồ lực cắt như ở hình 3.24 Lực cắt nhỏ nhất MIN = -257.917kN và lớn nhất MAX = 342.082kN.



Hình 3.24. Biểu đồ lực cắt

• Ví dụ 3.2. Dầm liên tục hai nhịp

Dầm liên tục 2 nhịp có sơ đồ tính toán cho ở hình 3.25, tiết diện chữ IN^{o}30 có A = 132cm^2, mômen quán tính I = 75450cm^4, chiều cao dầm h = 60cm. Vật liệu thép CT3 có E = 2.1×10^{8}kN/m^2, μ = 0.3. Xác định biểu đồ mômen uốn, lực cắt của dầm.



Hình 3.25. Sơ đồ tính toán dầm

1. Giải theo phương thức GUI

- *Đặt tên cho bài toán*:Từ menu File > Change Title > Xuất hiện bảng Change Title như ở hình 1.2 > Nhập: "Vidu 3.2-Dam liên tục hai nhịp" > OK.

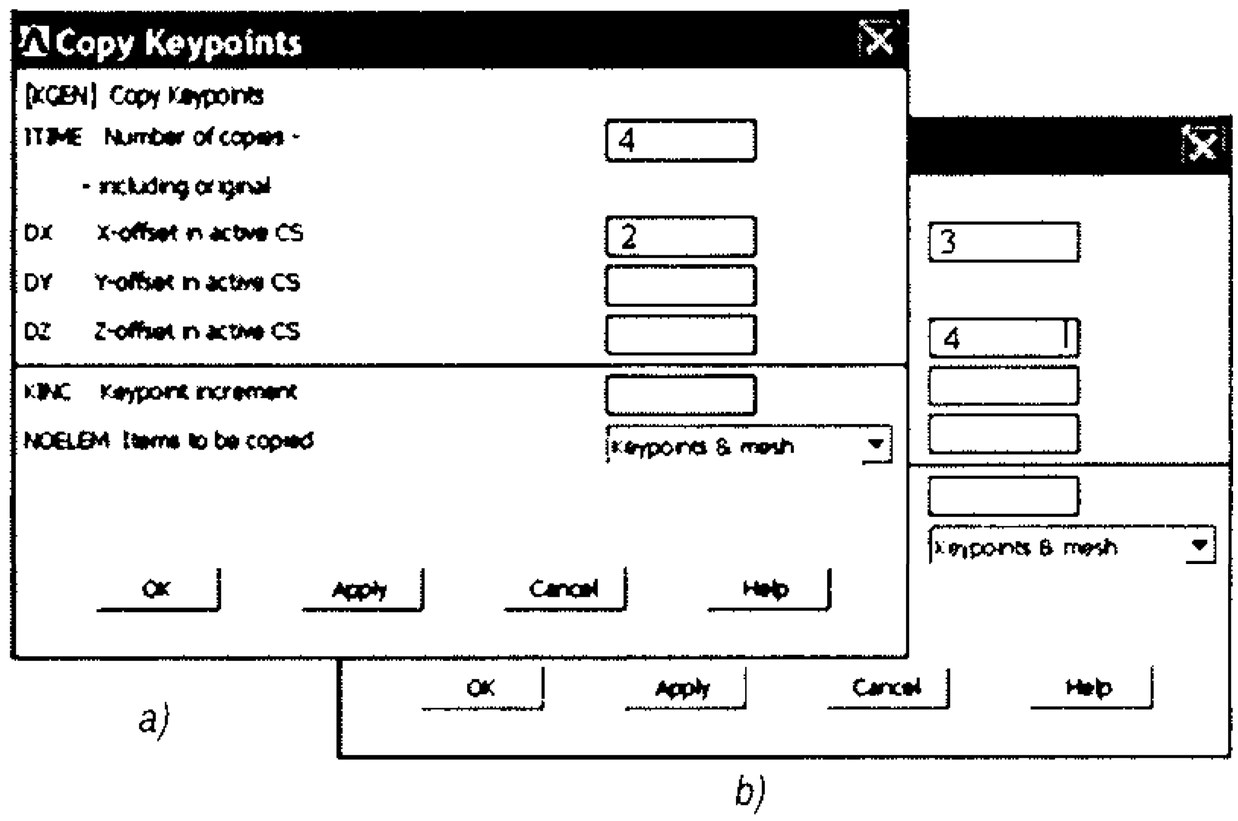
- *Mô hình hóa dầm*: Tạo 5 điểm từ menu Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS > Xuất hiện bảng Create Keypoints in Active Coordinate System:

Tạo điểm 1 với tọa độ X=0, Y=0, Z=0 > OK.

Sau đó dùng chức năng Copy tạo các điểm còn lại, từ menu Preprocessor > Modeling > Copy > Keypoint > Nhấn chuột vào điểm 1 > Apply > Xuất hiện bảng Copy Keypoints như ở hình 3.26a > Nhập ITIME = 4 và DX = 2 > Apply > Ta có các điểm 1, 2, 3, 4 > Nhấn chuột vào điểm 4 > OK > Copy Keypoints > Nhập ITIME = 3 và DX = 4 như ở hình 3.26b > OK > Ta có thêm hai điểm 5, 6.

Sau đó vẽ các đoạn thẳng từ menu Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Straight Line > Nhấn chuột lần lượt vào nút 1-2, 2-3, ..., 5-6, ta có 5 đoạn thẳng.

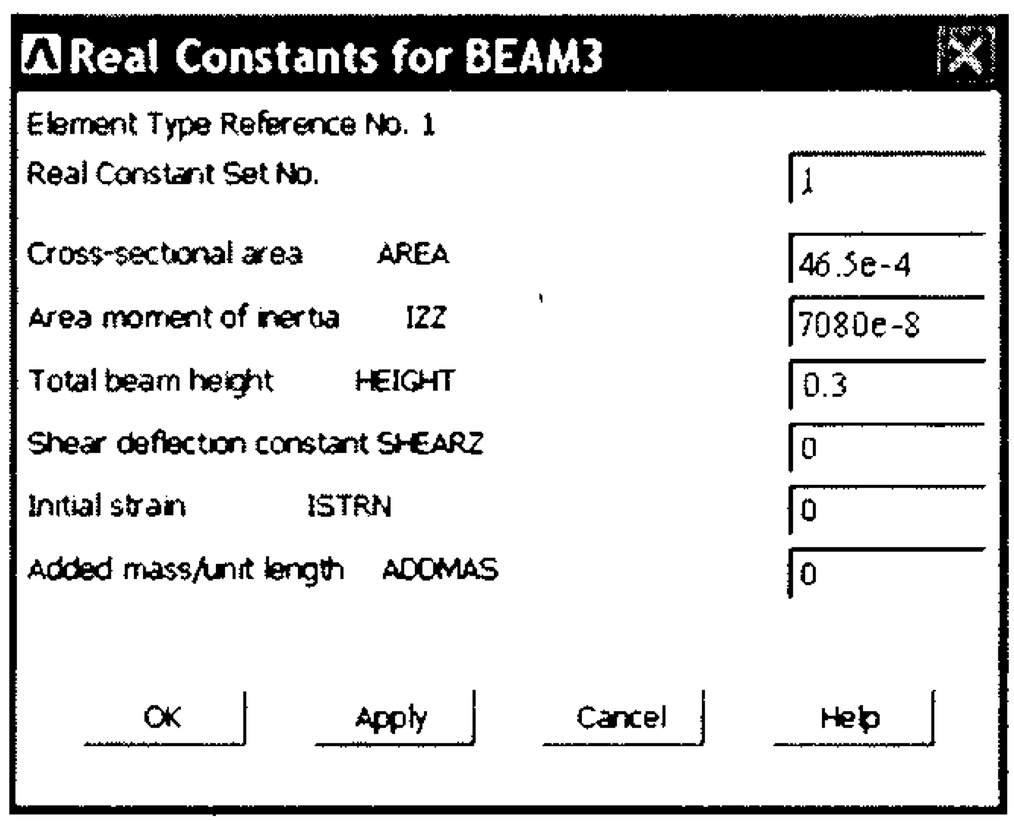
- *Định nghĩa loại phần tử:* Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Xuất hiện Element Type > Nhấn Add > Xuất hiện bảng Library of Element Types > Chọn phần tử BEAM ở cửa sổ trái và 2D elastic 3 ở cửa sổ phải > OK > Xuất hiện lại bảng Element Type và BEAM3 đã được dưa vào danh sách > Nhấn Option > Xuất hiện bảng Beam Element Type Option > Chọn Include Output trong Member Force + Moment Output K6.



Hình 3.26. *Lệnh copy điểm*

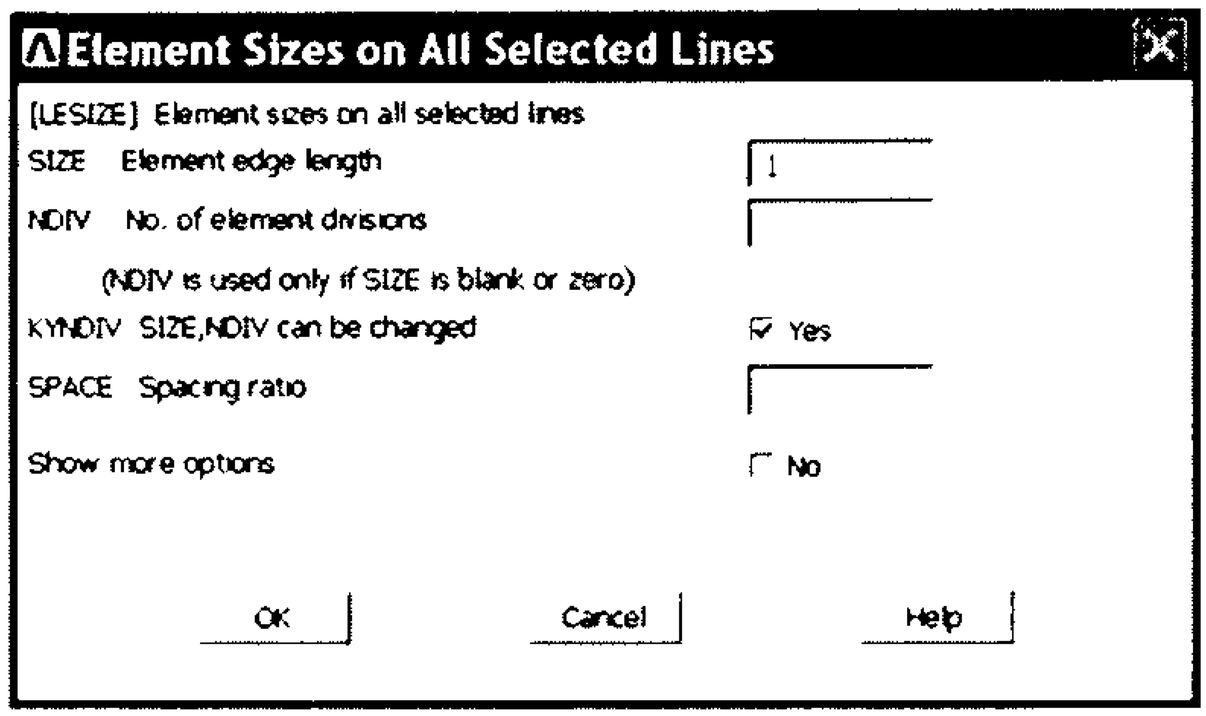
- *Định nghĩa thuộc tính của vật liệu:* Preprocessor > Material Props > Material Model > Xuất hiện bảng Define Material Model Behavior > Nhấn nút Structural > Linear > Elastic > Isotropic > Xuất hiện bảng Linear Isotropic Properties for Material 1 > Nhập mô đun đàn hồi EX = 2.1×10^8kN/m^2 và hệ số Poisson PRXY = 0.3 > Để thoát khỏi chức năng này > Nhấn vào Material ở hàng trên cùng của bảng > Nhấn Exit.

- *Định nghĩa hằng số thực cho phần tử Beam3: Từ menu* Preprocessor > Real Constants > Add\Edit\Delete > Xuất hiện bảng Real Constant Set Number 1, for BEAM3 như ở hình 3.27 và nhập các số liệu sau: AREA = 132×10^{-4} m^2, Izz = 75450×10^{-8}m^4, HEIGHT = 60m > OK.



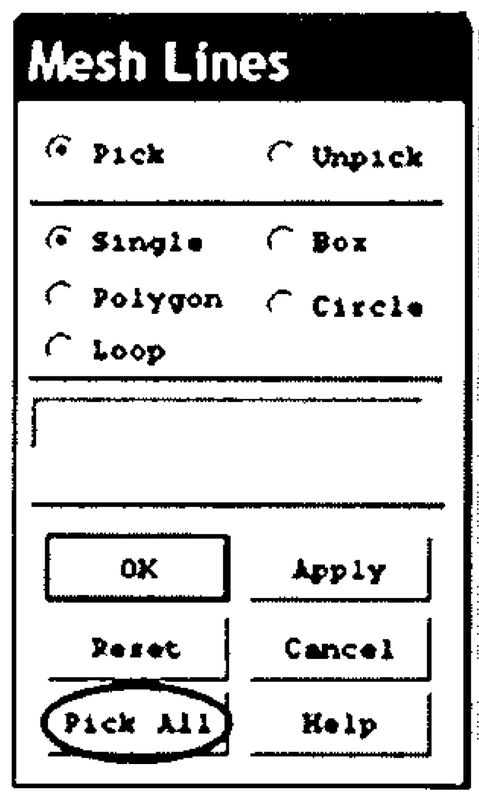
Hình 3.27. *Định nghĩa đặc trưng hình học của BEAM3*

- *Chọn kích thước lưới:* Từ menu Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > Manual Size > Lines > All Lines > Xuất hiện bảng Element Sizes on All Selected Lines > Nhập chều dài phần tử SIZE Element edge length = 1 như ở hình 3.28 > OK.

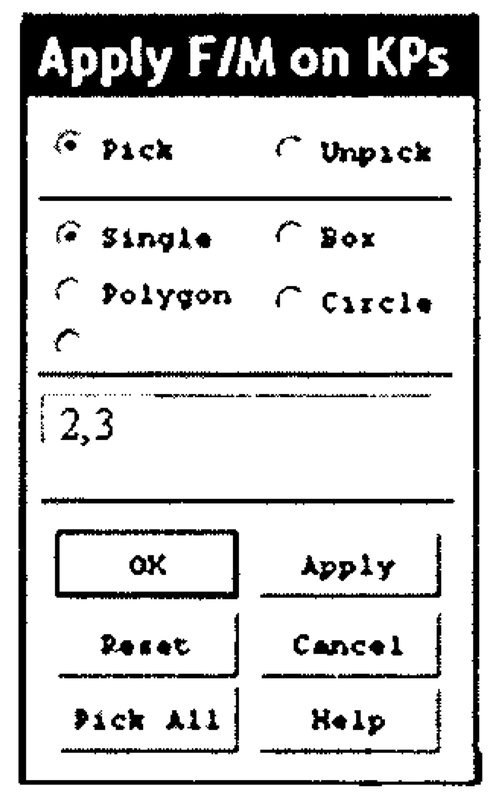


Hình 3.28. Chọn kích thước phần tử

- *Chia lưới phần tử:* Preprocessor > Meshing > Mesh > Lines > Xuất hiện bảng Mesh Lines như ở hình 3.29 > Nhấn vào nút Pick All.



Hình 3.29

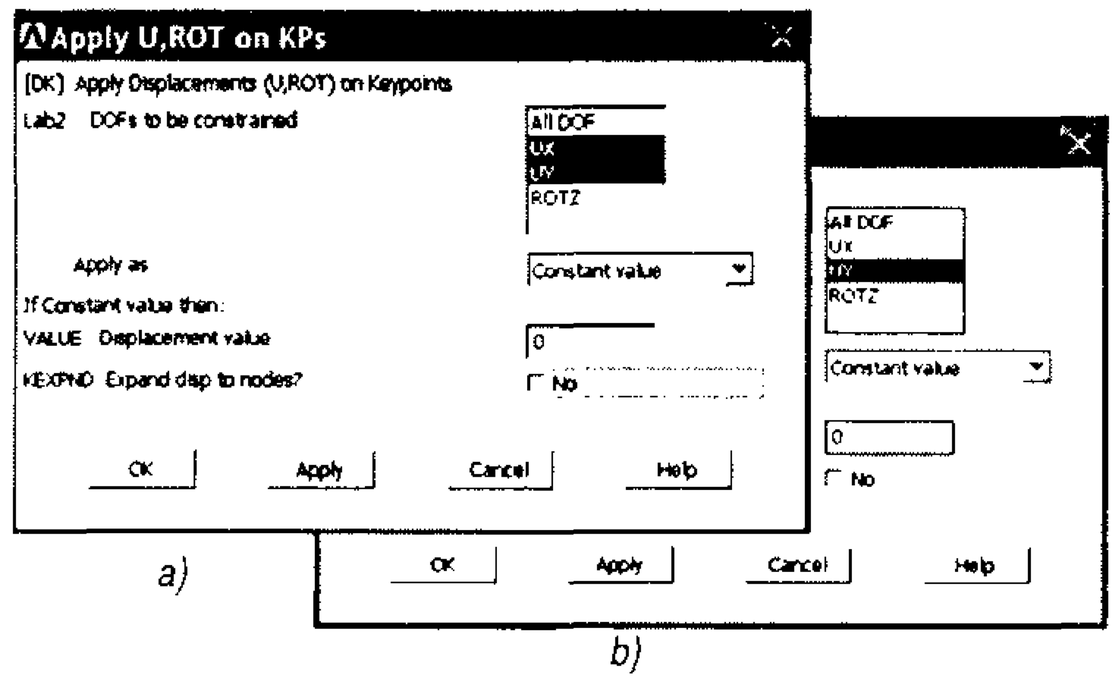


Hình 3.30

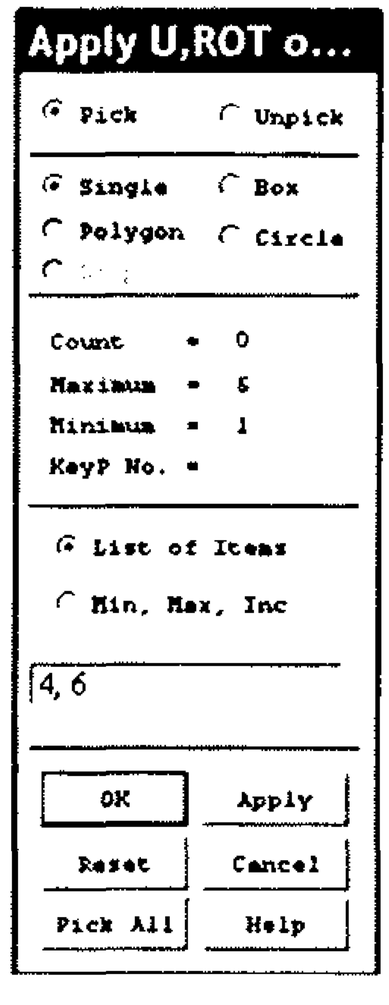
- *Chọn kiểu phân tích:* Solution > Analysis Type > New Analysis > Xuất hiện bảng New Analysis > Chọn • Static > OK.

- *Gán liên kết:* Solution > Define Loads > Apply > Displacement > On Keypoints > Chọn điểm 1 > Apply > Xuất hiện bảng Apply U, ROT on KPs như ở hình 3.31a > Chọn Ux, Uy > Nhập giá trị chuyển vị VALUE = 0 > OK. Chọn trực tiếp điểm 4 và 6 hoặc nhập 4, 6 vào bảng Apply U, ROT on KPs như ở hình 3.32 > OK > Chọn Uy > Nhập giá trị chuyển vị VALUE = 0 như ở hình 3.31b > OK.

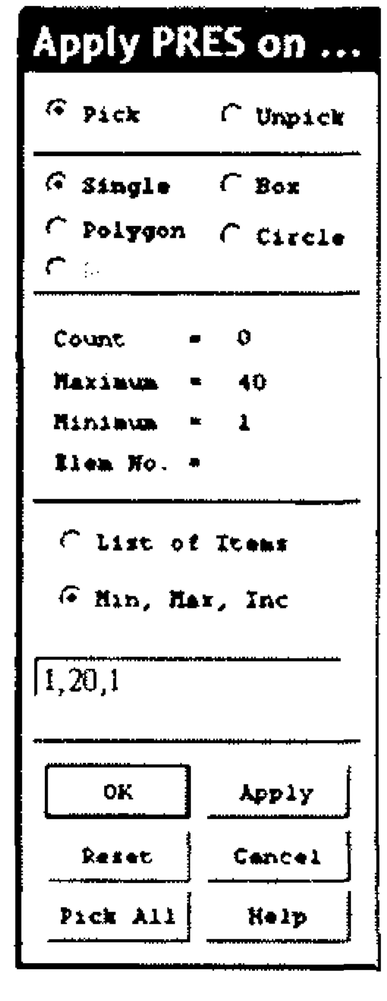
- *Gán tải trọng phân bố hình tam giác*: Solution > Define Loads > Pressure > On Beams > Xuất hiện bảng Apply PRES on Beams như ở hình 3.36 > Chọn trực tiếp lần lượt 8 phần tử Beams ở nhịp thứ 2 từ phần tử 7 đến phần tử 14 như ở hình 3.34 và 3.35 > Chọn phần tử 7 > Apply > Tại nút I nhập VAL1 = 0, tại nút J nhập VALJ = 25 như ở hình 3.3 > Apply > Chọn phần tử 8 > Apply > Nút I nhập VAL1 = 25, Nút J nhập VALJ = 50 > Apply >...> Chọn phần tử 14 > OK > Nút I nhập VAL1 = 25, nút J nhập VALJ = 0 > OK.



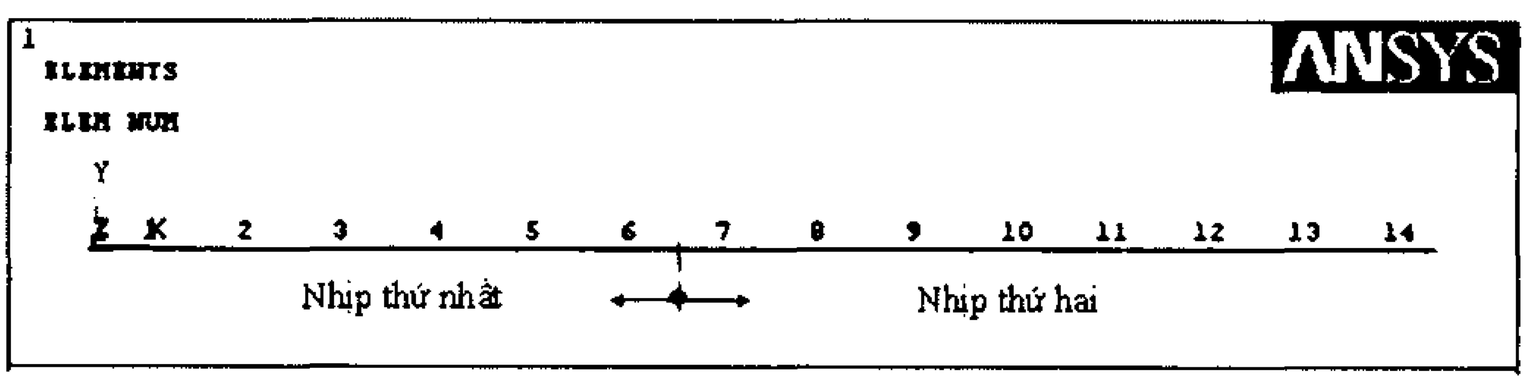
Hình 3.31. Gán liên kết vào điểm 1, 4 và 6



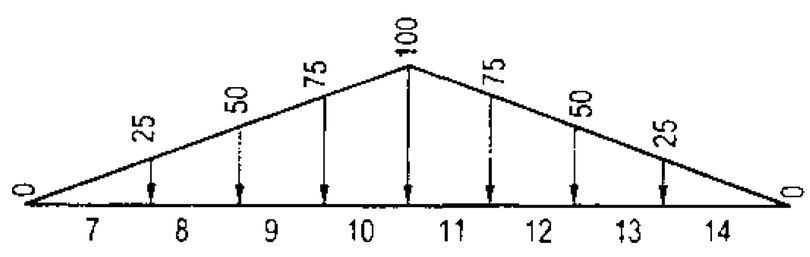
Hình 3.32



Hình 3.33

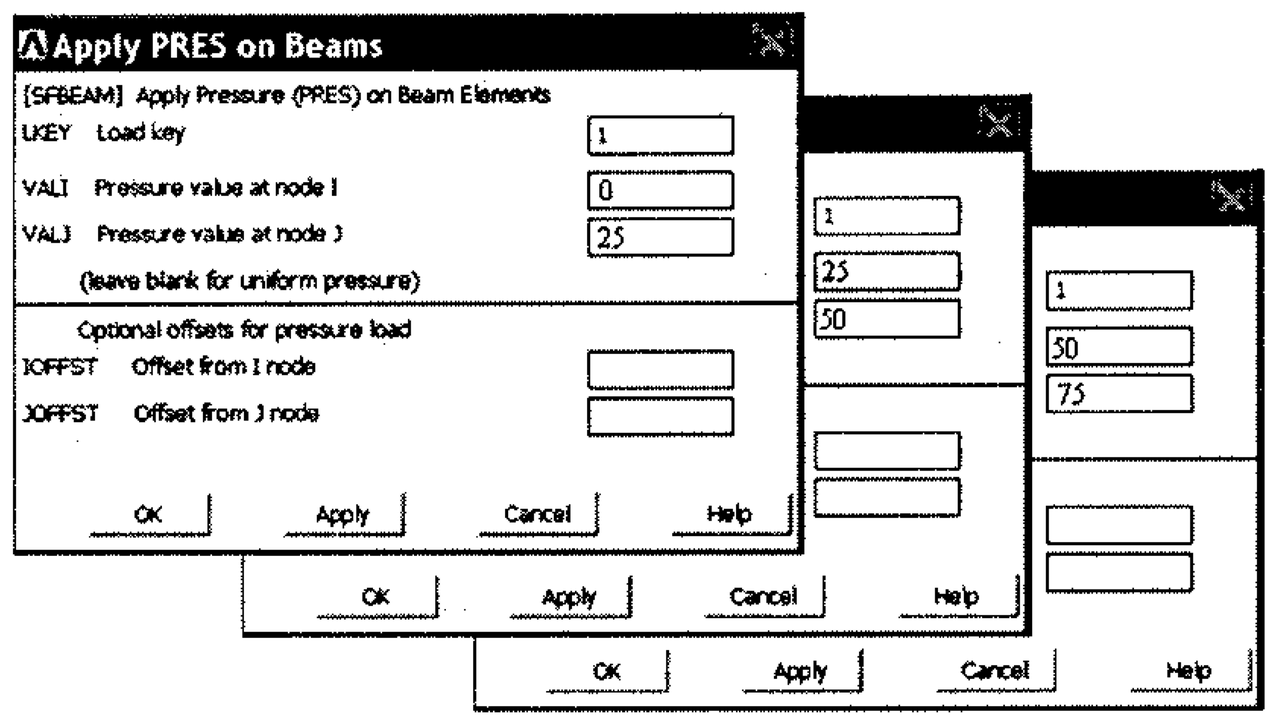


Hình 3.34. Mã phần tử Beam của dầm hai nhịp

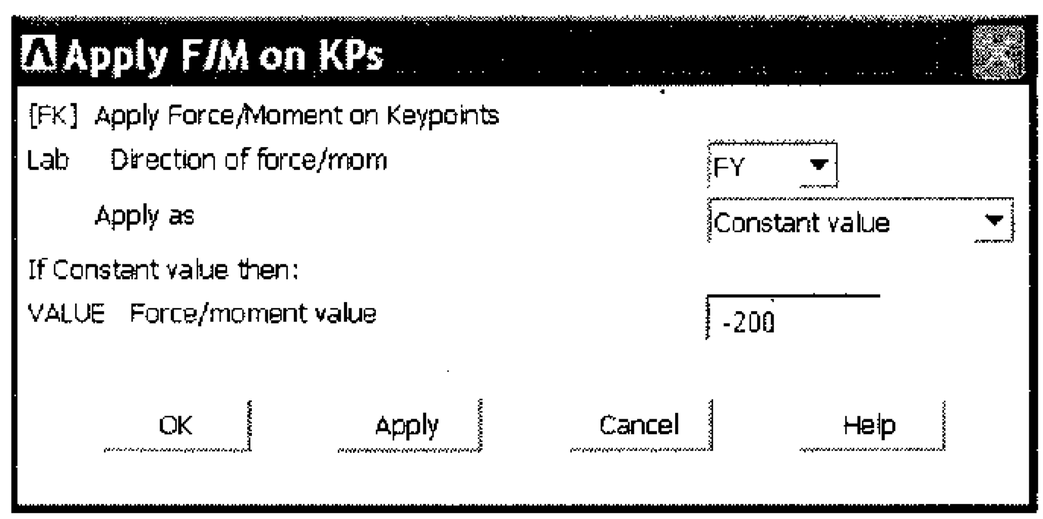


Hình 3.35. Tải trọng phân bố hình tam giác lên nhịp thứ hai

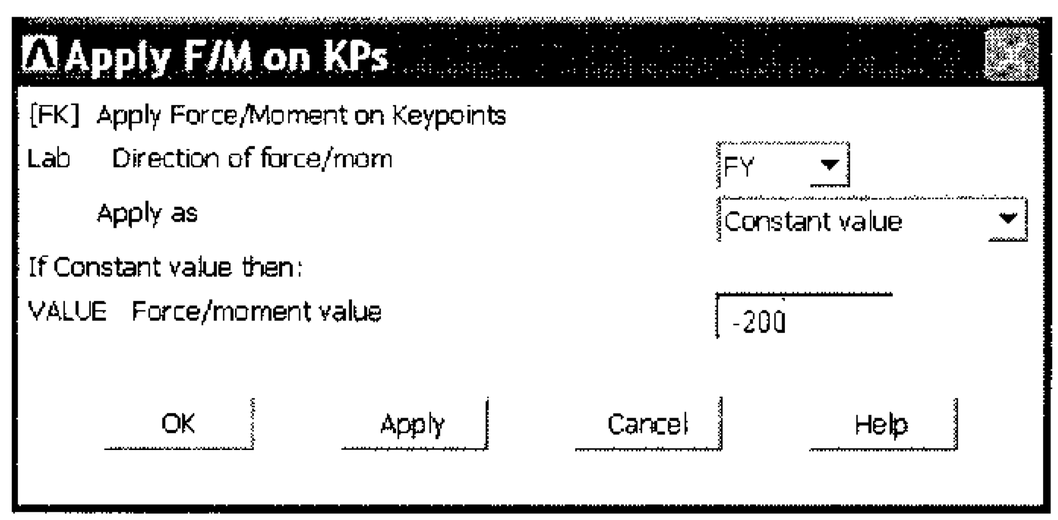
- *Gán tải trọng tập trung*: Solution > Define Loads > Structural > Force/Moment > Nhấn chuột vào điểm 2 > Apply > Apply F/M on KPs > Chọn phương của lực P_1 là FY như ở hình 3.37 và nhập VALUE = -200 > Apply > Nhấn chuột vào điểm 3 > Chọn phương của lực P_2 là FY như ở hình 3.38 và nhập VALUE = -300 > OK.



Hình 3.36. *Gán tải trọng phân bố vào phần tử Beam 7, 8, 9*

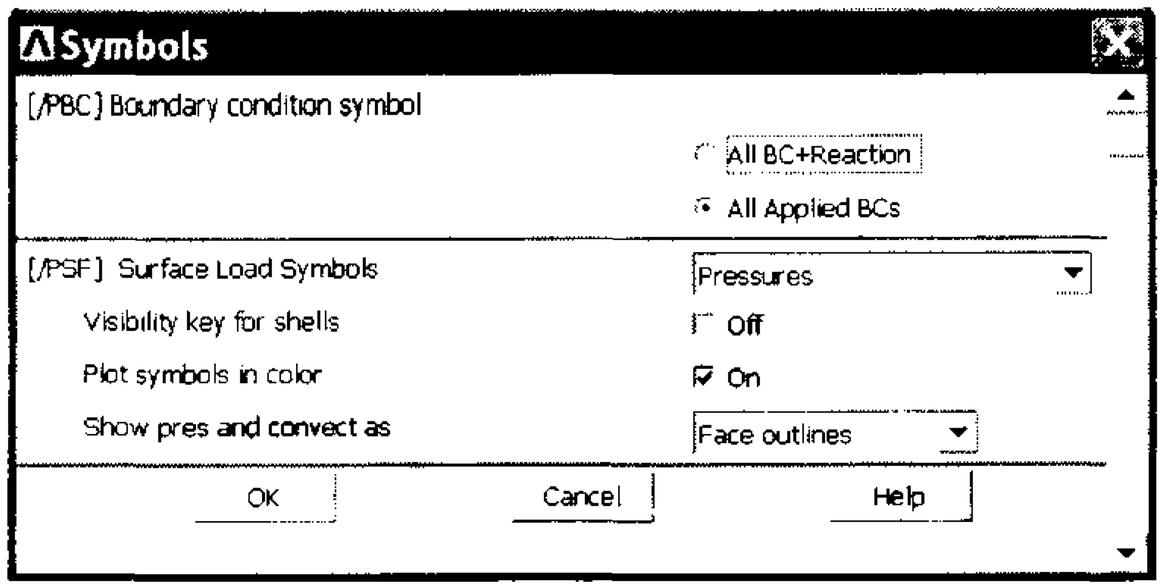


Hình 3.37. *Gán tải trọng P_1 vào điểm 2 của dầm*

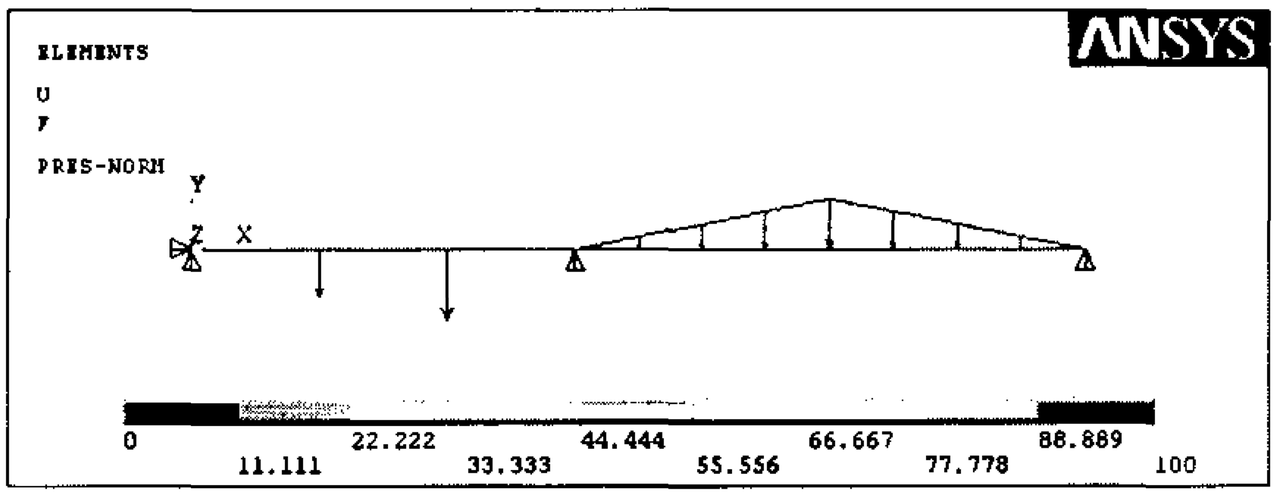


Hình 3.38. *Gán tải trọng P_2 vào điểm 3 của dầm*

- *Hiển thị sơ đồ tính toán:* Plot Ctrls > Symbols > Xuất hiện bảng Symbols > Chọn hiển thị điều kiện biên [/PBC] Boundary condition symbol ⊙ All Applied BCs, hiển thị tải trọng phân bố [/PSF] Surface Load Symbol [Pressures] và phổ mầu của tải trọng Plot Symbol in Color ☑ On như ở hình 3.39, ta có sơ đồ tính toán dầm như ở hình 3.40.



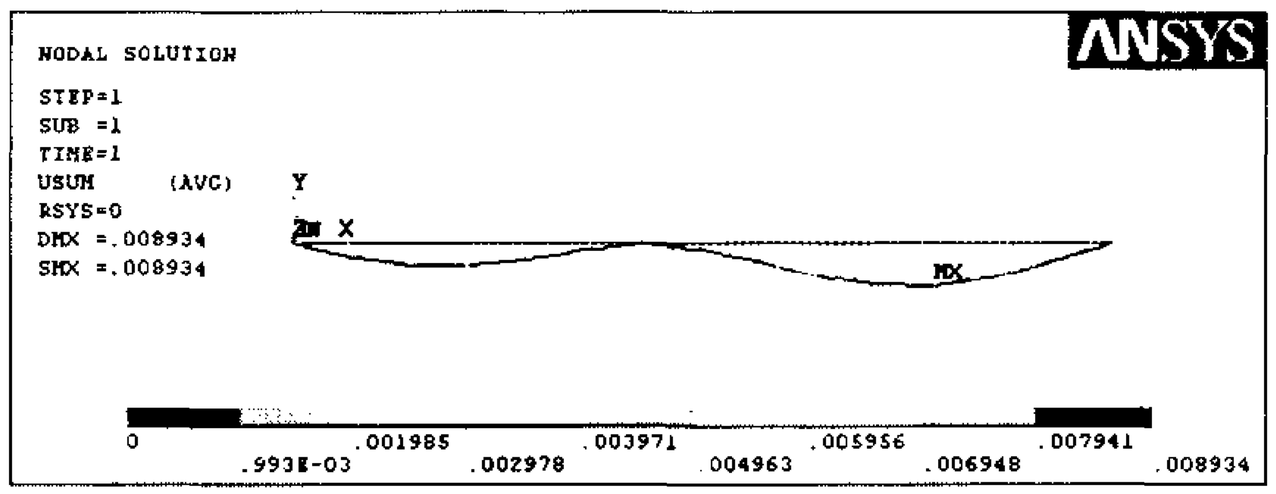
Hình 3.39. *Lệnh hiển thị điều kiện biên và tải trọng phân bố*



Hình 3.40. *Sơ đồ tính toán dầm*

- *Chạy chương trình*: Solution > Solve > Nhấn Currunt LS > Khi xuất hiện dòng chữ Solution is done thông báo việc giải đã hoàn thành > Close.

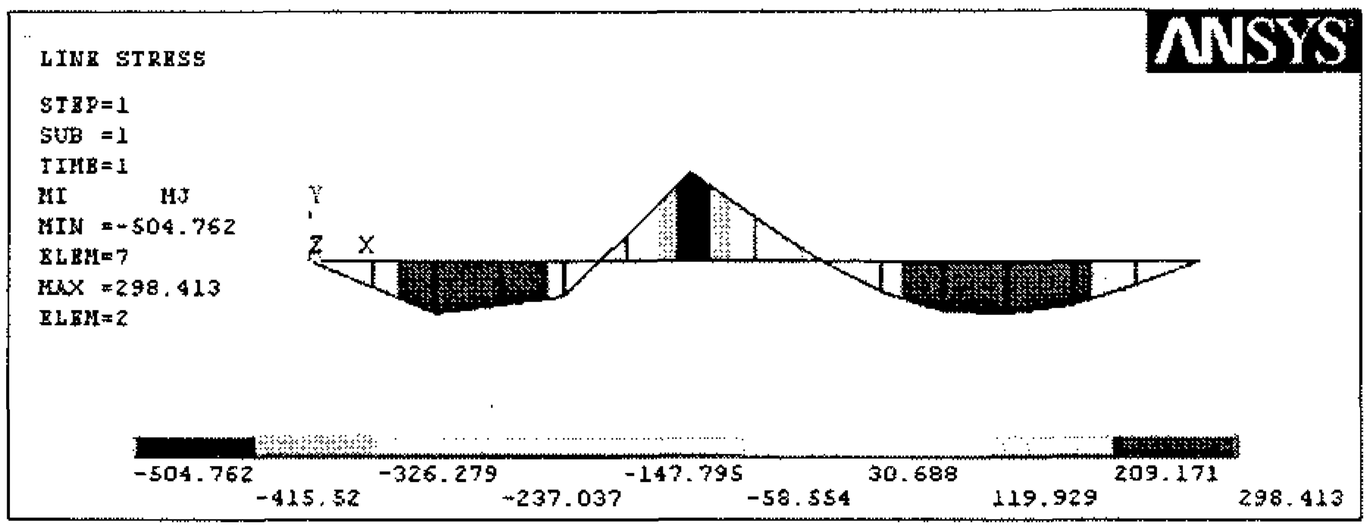
- *Độ võng đầu dầm*: General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Nodal Solution > Contour Nodal Solution Data > Nodal Solution > DOF Solution > Displacement Vector SUM, ta có biểu đồ biến dạng của dầm như ở hình 3.41. Thông báo phía góc trên phía trái hình vẽ cho biết chuyển vị lớn nhất của dầm là DMX = -0.008934m



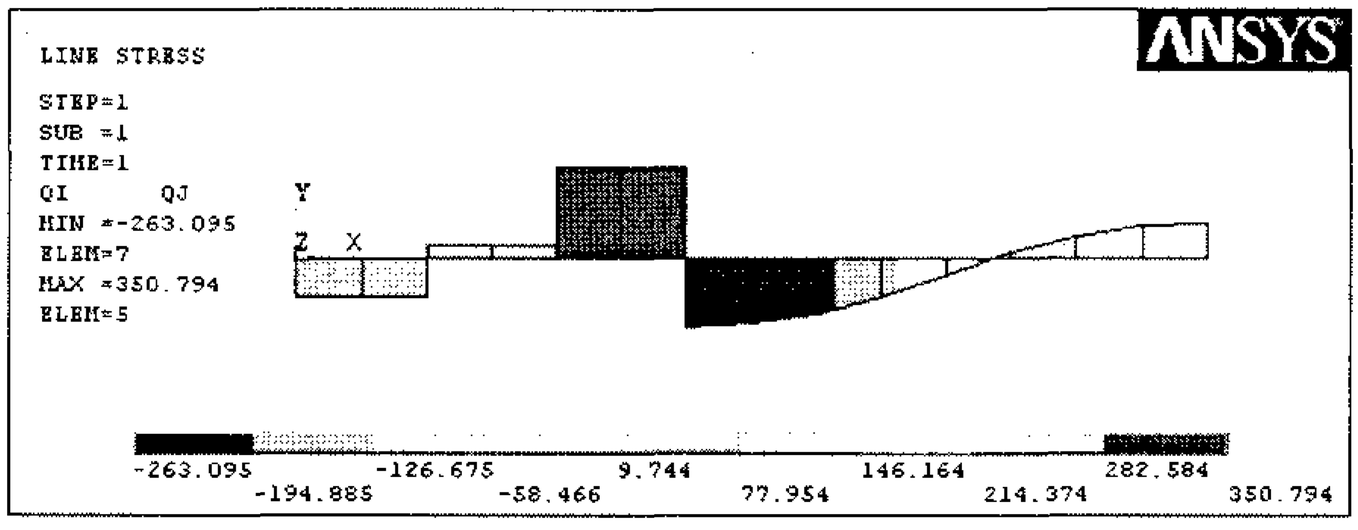
Hình 3.41. *Hình dạng biến dạng của dầm*

- *Hiển thị biểu đồ mômen uốn:* General Postprocessor > Plot Resul > Contour Plot > Line Element Result > Plot Line-Element Results > Chọn mã nội lực ở nút I là MI và nút J là MJ > OK, ta có biểu đồ mômen uốn như ở hình 3.42.

- *Hiển thị biểu đồ cắt:* Cũng thực hiện tương tự với mã nội lực ở hai nút I là QI và nút J là QJ > OK, ta có biểu đồ lực cắt như ở hình 3.43.



Hình 3.42. Biểu đồ mômen uốn



Hình 3.43. Biểu đồ lực cắt

2. Giải theo phương thức COMMAND

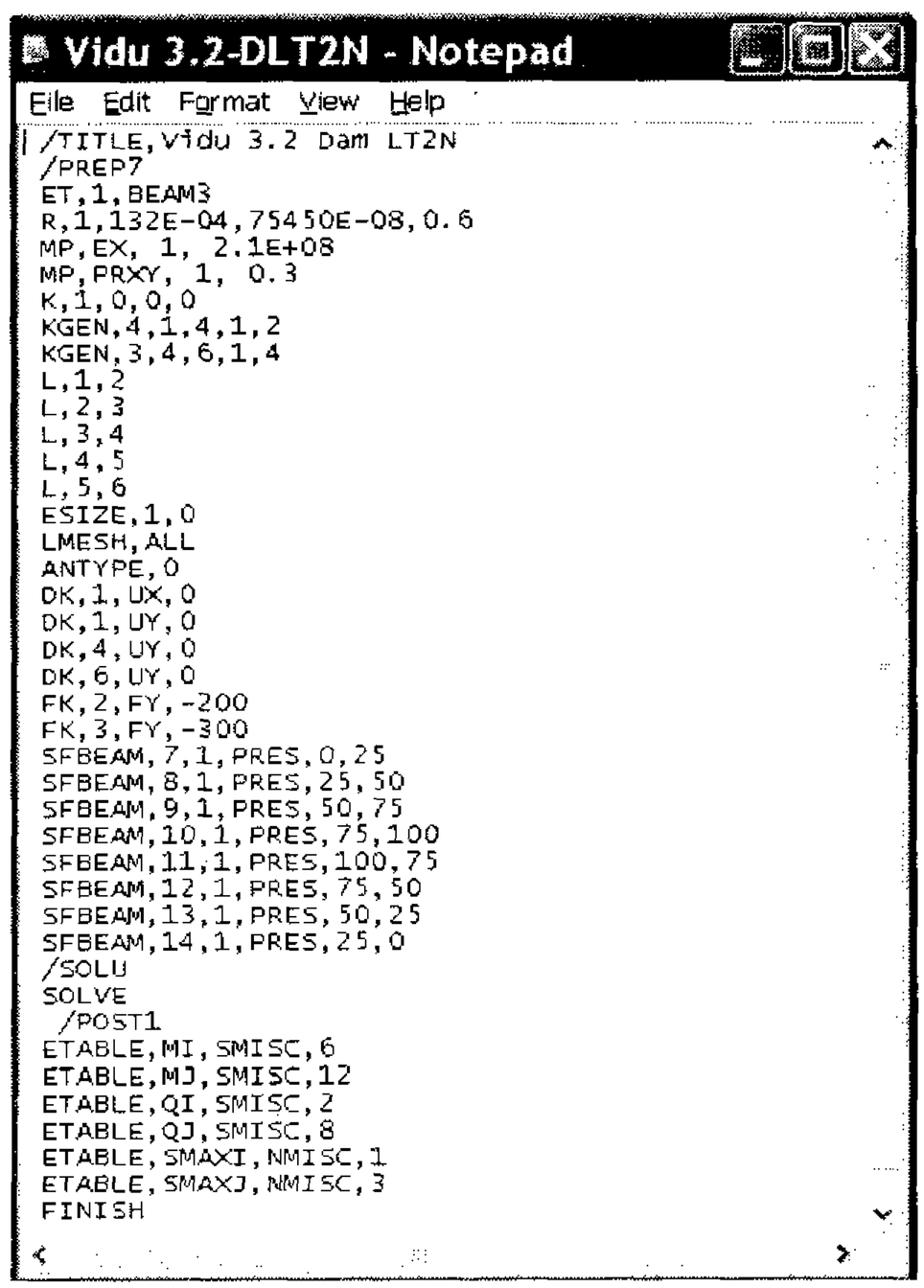
```
/TITLE, Vi du 3.2 Dam lien tục hai nhip
/PREP7
ET,1,BEAM3
R,1,46.5e-04,7080e-08,0.3
MP,EX,1,2.1E+08
MP,PRXY,1,0.3
K,1,0,0,0
KGEN,4,1,4,1,2
KGEN,3,4 6,1,4
L,1,2
L,2,3
L,3,4
L,4,5
L,5,6
ESIZE,1
LMESH,ALL
ANTYPE,0
DK,1,ALL
DK,4,UY,0
```

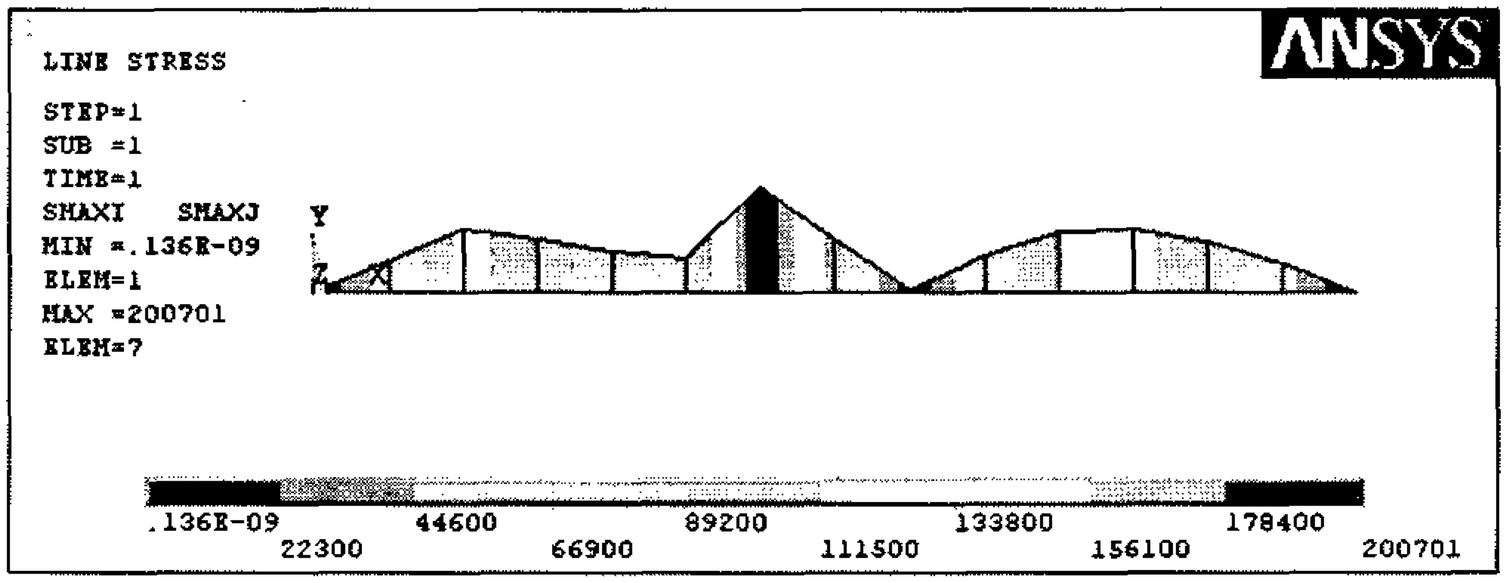
```
DK,6,UY,0
FK,2,FY,-200
FK,4,FY,-200
SFBEAM,7,1,PRES,0,50
SFBEAM,8,1,PRES,50,100
SFBEAM,9,1,PRES,100,150
SFBEAM,10,1,PRES,150,200
SFBEAM,11,1,PRES,200,150
SFBEAM,12,1,PRES,150,100
SFBEAM,13,1,PRES,100,50
SFBEAM,14,1,PRES,50,0
/SOLU
SOLVE
/POST1
ETABLE,MI,SMISC,6
ETABLE,MJ,SMISC,12
ETABLE,QI,SMISC,2
ETABLE,QJ,SMISC,8
ETABLE,SMAXI,1
ETABLE,SMAXJ,3
FINISH
```

3. Giải theo phương thức APDL

Copy các lệnh ở trên được soạn thảo trong Word vào phần mềm Notepad có tên file là Vidu 3.2-Dam LT2N.txt được lưu trong ổ D\Thư mục Z.BT-ANSYS (3), cho chạy chương trình và hiển thị kết quả tính toán.

- *Hiển thị biểu đồ ứng suất SMAX:* General Postproc > Plot Result > Contour Plot > Line Element Result > Plot Line-Element Results > Chọn mã ứng suất ở nút I là SMAXI và mã nút J là SMAXJ > OK, ta có biểu đồ ứng suất pháp SMAX như ở hình 3.44.

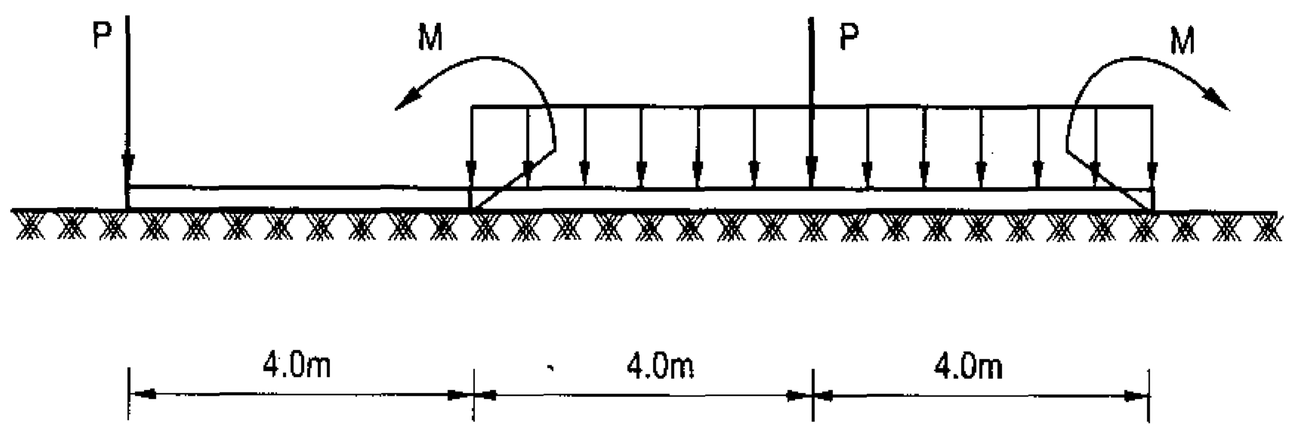




Hình 3.44. Biểu đồ ứng suất pháp SMAX

• Ví dụ 3.3. Dầm trên nền đàn hồi

Xác định biểu đồ mômen uốn và lực cắt của dầm.trên nền đàn hồi có sơ đồ tính toán cho ở hình 3.45. Tiết diện dầm có mặt cắt ngang hình chữ nhật b×h = 1.0×0.8m, với A = 0.8m^2, Iz = 0.04266m^4. Cho biết P = 300kN, M = 90kNm, q = 20kNm, Vật liệu bê tông có mô đun đàn hồi $E_b = 1.94\times10^7$kN/m^2, hệ số Poisson $\mu = 0.2$, hệ số nền $k_o = 6\times10^4$kN/m^3.



Hình 3.45. Sơ đồ tính toán dầm

1. Giải theo phương thức GUI

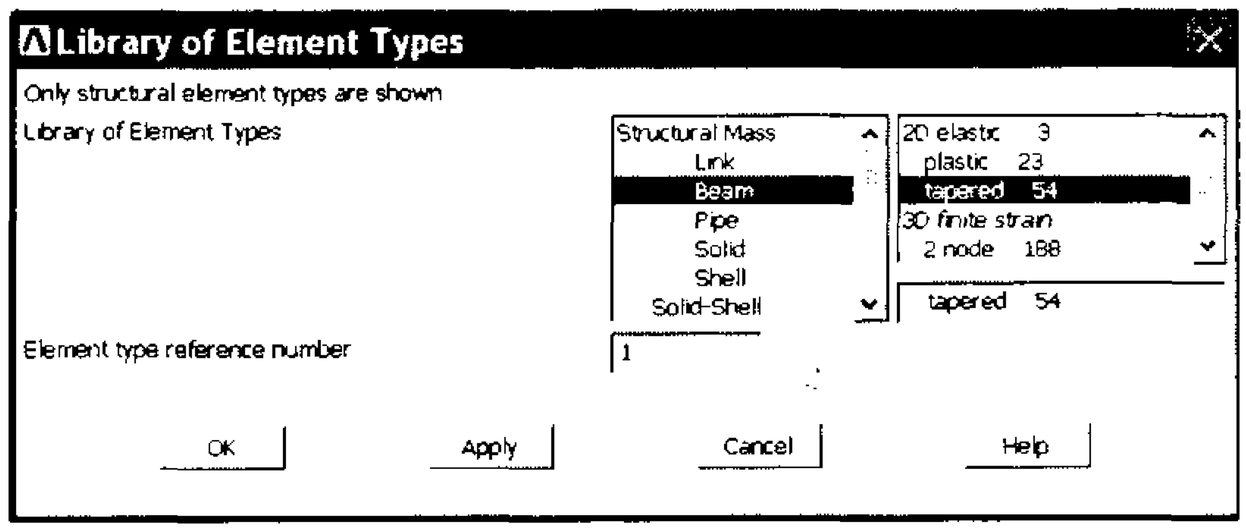
- *Đặt tên cho bài toán:* Từ menu File > Change Title > Xuất hiện bảng Change Title Nhập: "Vidu 2.3-Dam tren nen dan hoi" > OK.

- *Mô hình hóa dầm:* Trước hết tạo 4 điểm từ menu Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS > Xuất hiện bảng Create Keypoints in Active Coordinate System.

Nhập điểm 1 với tọa độ X=0, Y=0 > OK với hệ đơn vị: kN, m. Sau đó dùng chức năng Copy tạo các nút 2, 3, 4, từ menu Preprocessor > Modeling > Copy > Keypoint > Nhấn chuột vào nút 1 > Apply > Xuất hiện bảng Copy Keypoints > Nhập ITIME=4 và DX=4> OK, ta có bốn điểm 1, 2, 3, 4. Vẽ các đoạn thẳng từ Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Straight Line > Nhấn chuột lần lượt vào nút theo thứ tự 1-2, 2-3, 3-4, ta có mô hình dầm.

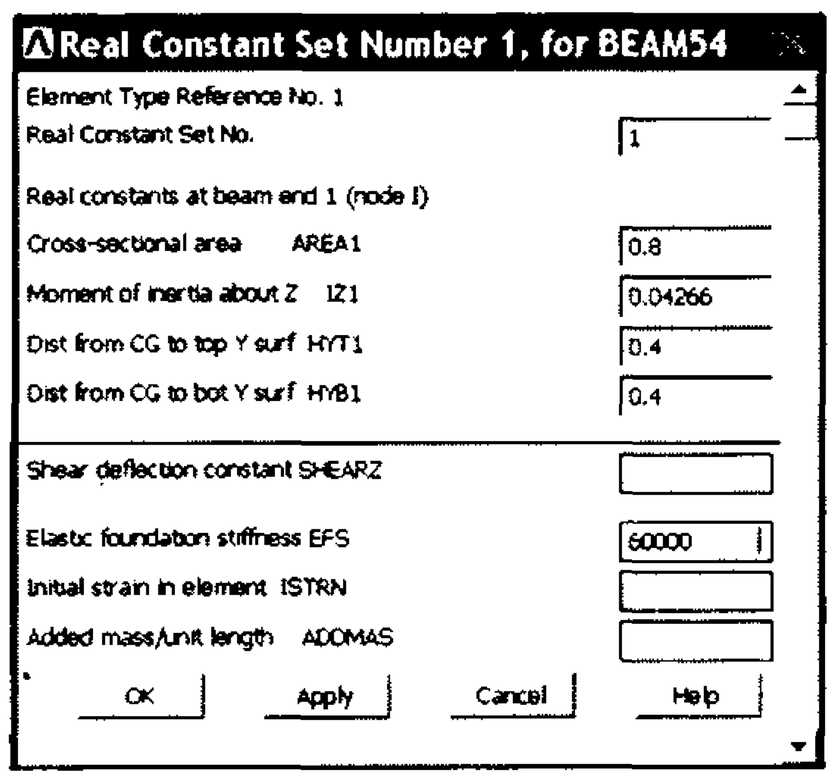
- *Định nghĩa thuộc tính của vật liệu:* Preprocessor > Material Props > Material Model > Define Material Model Behavior > Structural > Linear > Elastic > Isotropic > Linear Isotropic Properties for Material > Nhập EX = 1.94×10^7kN/m^2 và PRXY = 0.2 > Linear Isotropic Properties for Material > Material > Exit.

- *Định nghĩa loại phần tử:* Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Element Type > Add > Library of Element Types như ở hình 3.46 > Chọn BEAM ở cửa sổ nhỏ bên trái và Tapered 54 ở cửa sổ nhỏ bên phải hình này > OK.



Hình 3.46. *Chọn phần tử BEAM54*

- *Định nghĩa hằng số thực:* Preprocessor > Real Cóntants > Add\Edit\Delete > Real Constant Set Number 1, for BEAM54 như ở hình 3.47 và nhập các số liệu về dầm và nền đàn hồi như sau:



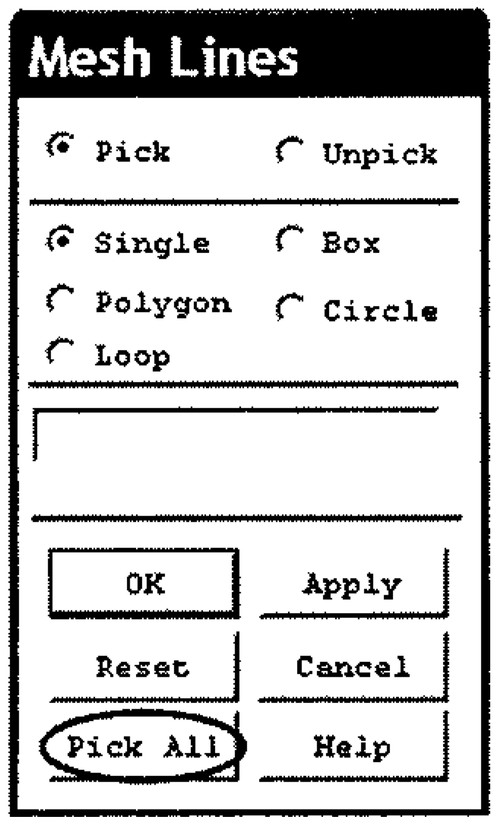
Hình 3.47. *Định nghĩa đặc trưng hình học của dầm*

- *Định nghĩa kích thước lưới:* Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > Manual Size > Lines > All Lines > Xuất hiện bảng Element Sizes on All Selected Lines > Nhập chiều dài SIZE = 0.4 > OK.

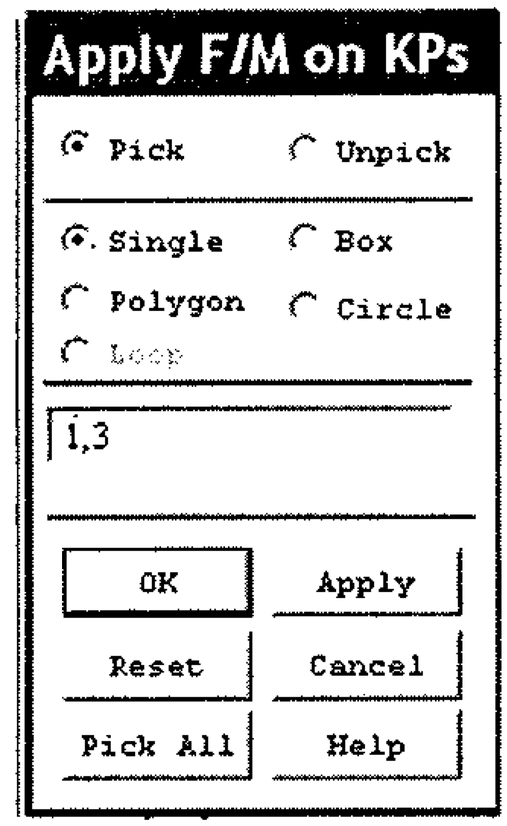
- *Chia lưới phần tử:* Preprocessor > Meshing > Mesh > Lines > Xuất hiện bảng Mesh Lines như ở hình 3.48 > Nhấn vào nút Pick All.

- *Định nghĩa kiểu phân tích*: Solution > Analysis Type > New Analysis > Xuất hiện bảng New Analysis > Chọn ⊙ Static > OK.

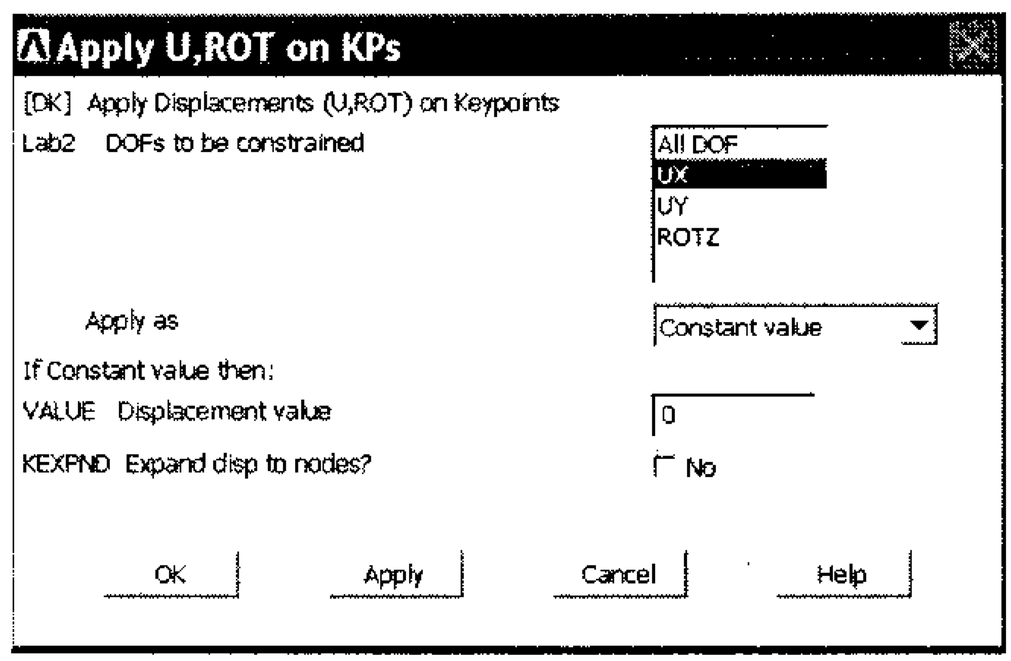
- *Gán liên kết*: Solution > Define Loads > Apply > Displacement > On Keypoints > Chọn điểm 1 > OK > Xuất hiện bảng Apply U, ROT on KPs như ở hình 3.50 > Chọn Ux > Nhập giá trị chuyển vị VALUE = 0, ngoài các liên kết đứng là các lò xo chưa đủ để kết cấu không bị biến hình, cần đặt thêm một liên kết ngang có thể đặt tại vị trí bất kỳ trên dầm để không bị suy biến trong quá trình giải do thiếu lên kết > OK.



Hình 3.48

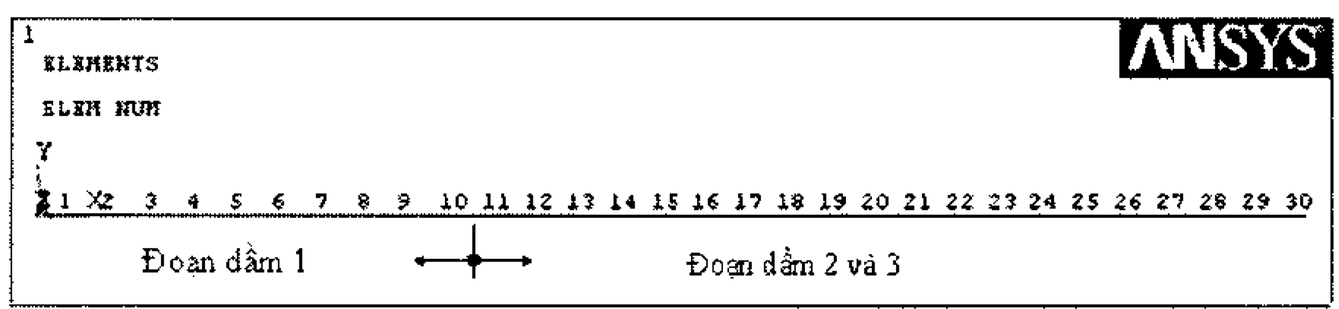


Hình 3.49



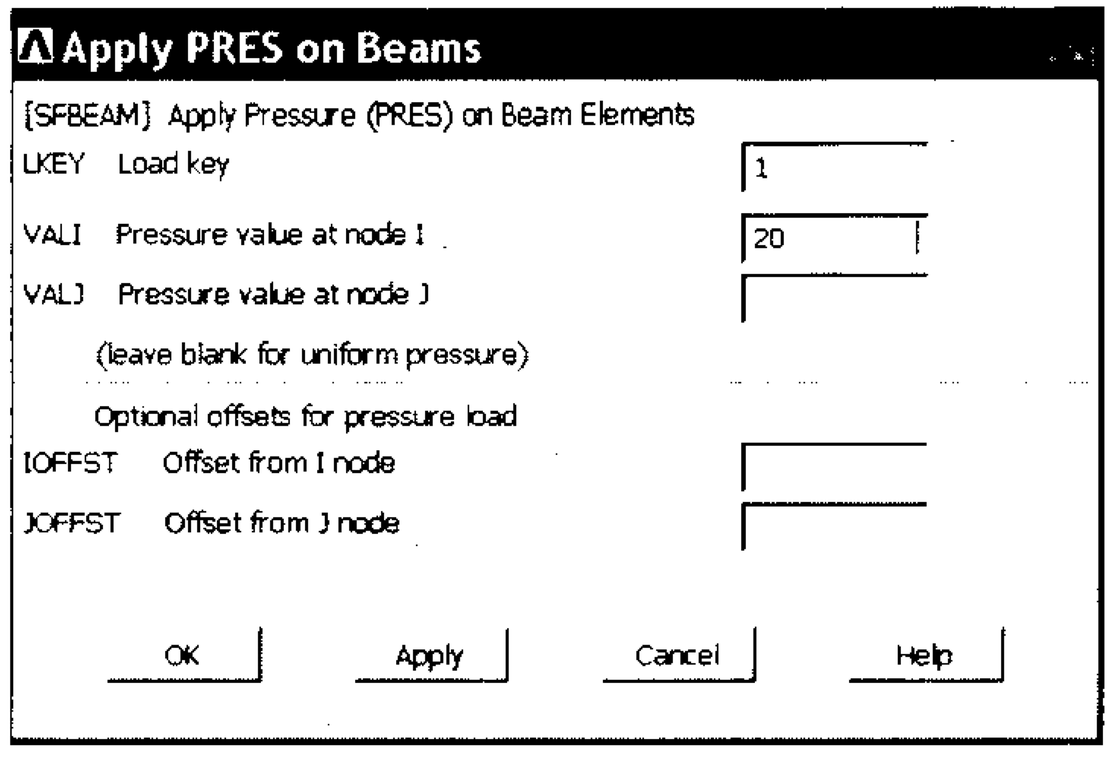
Hình 3.50. *Gán liên kết ngang vào điểm 1*

- *Gán tải trọng phân bố đều q vào đoạn 2 và 3 của dầm*: Solution > Define Loads > Apply > Pressures > Chọn các phần tử ở đoạn dầm 2 và 3 (gồm các phần tử dầm từ 11 đến 30 như ở hình 3.51) > OK > Xuất hiện bảng Apply PRES on Beams > Nhập giá trị tải trọng phân bố đều q = 20kN/m vào nút I VALI = 20, còn nút J VALJ để trống như ở hình 3.52.

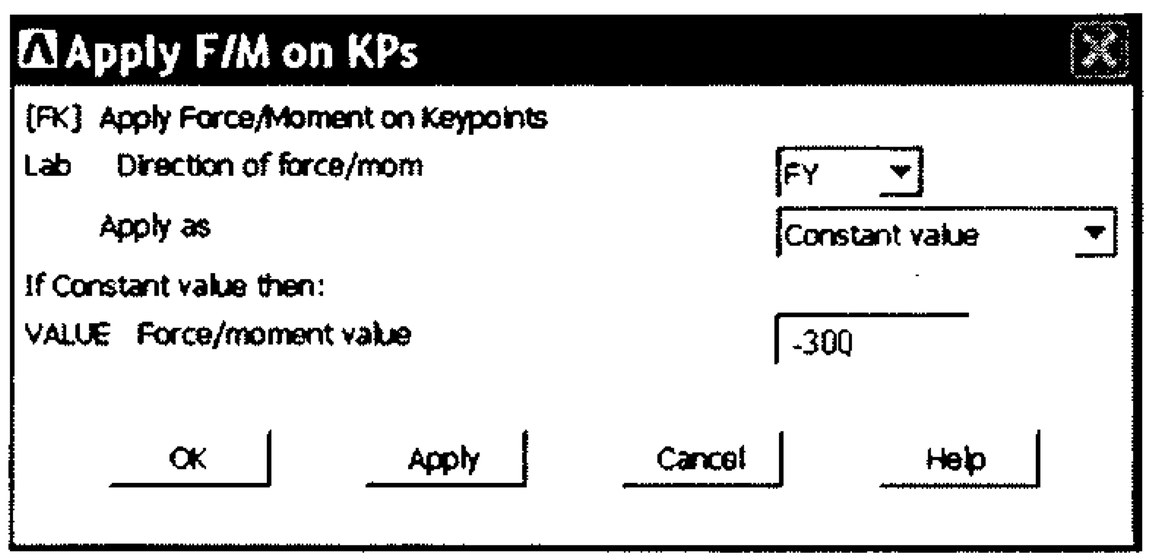


Hình 3.51. *Mã phần tử BEAM*

- *Gán tải trọng tập trung P*: Solution > Structural > Force/Moment > Nhấn chuột vào điểm 1, 3 hoặc nhập 1, 3 vào bảng Apply F/M on KPs như ở hình 3.49 > Nhấn OK > Xuất hiện bảng Apply F/M on KPs như ở hình 3.53 > Chọn FY, nhập giá trị của lực VALUE = -300 mang dấu âm (-) do chiều của lực P ngược với chiều dương của truc Y > OK.

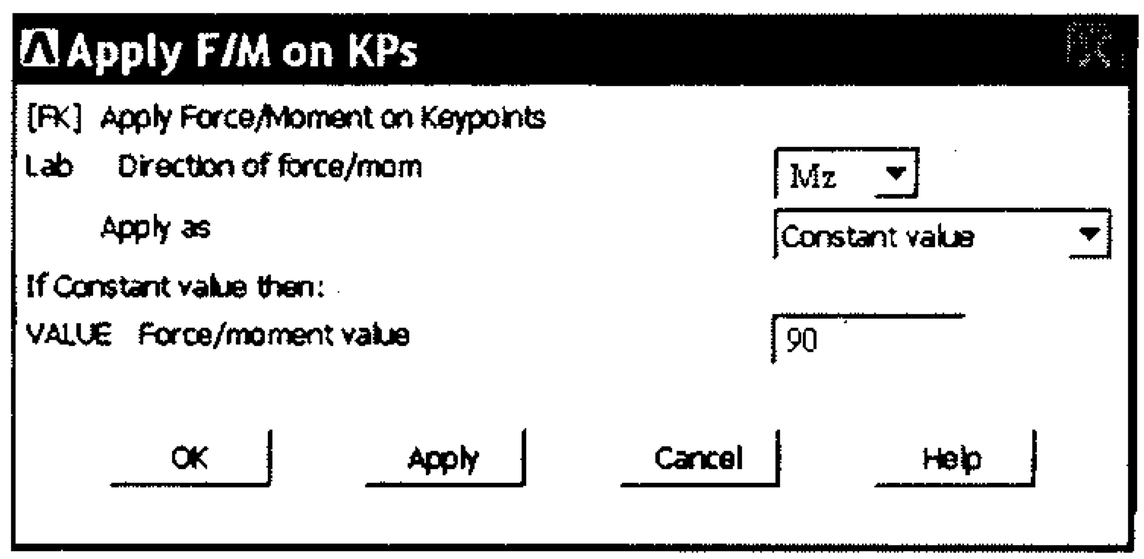


Hình 3.52. *Gán tải trọng phân bố đều vào dầm*



Hình 3.53. *Gán tải trọng tập trung vào dầm*

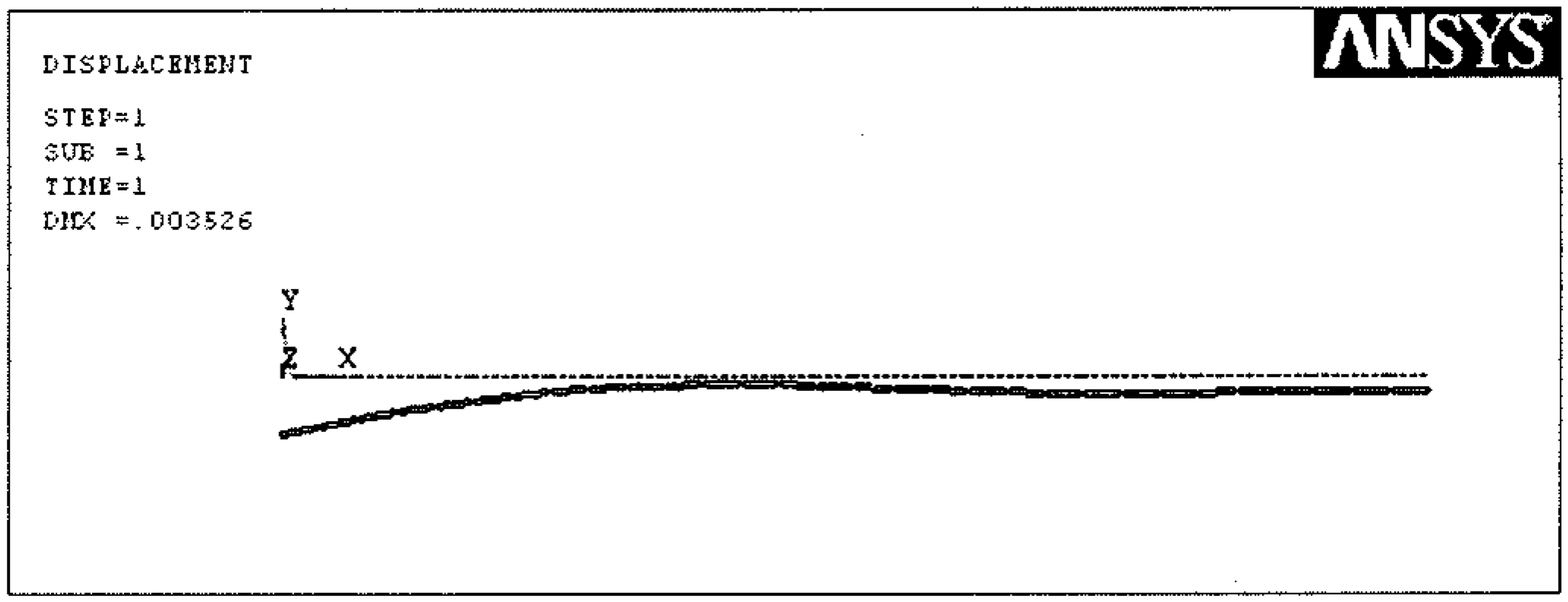
- *Gán mômen uốn M*: Chọn điểm 2 và gán mômen M = 90kNm như ở hình 3.54 với VALUE = 90 và mang dấu (+) do chiều của vectơ mômen M cùng chiều dương trục Z, tương tự chọn điểm 4 và gán mômen M = -90kNm với VALUE = -90 mang dấu âm (-) do chiều của vectơ mômen M này ngược với chiều.dương trục Z.



Hình 3.54. *Gán mômen tập trung M vào dầm*

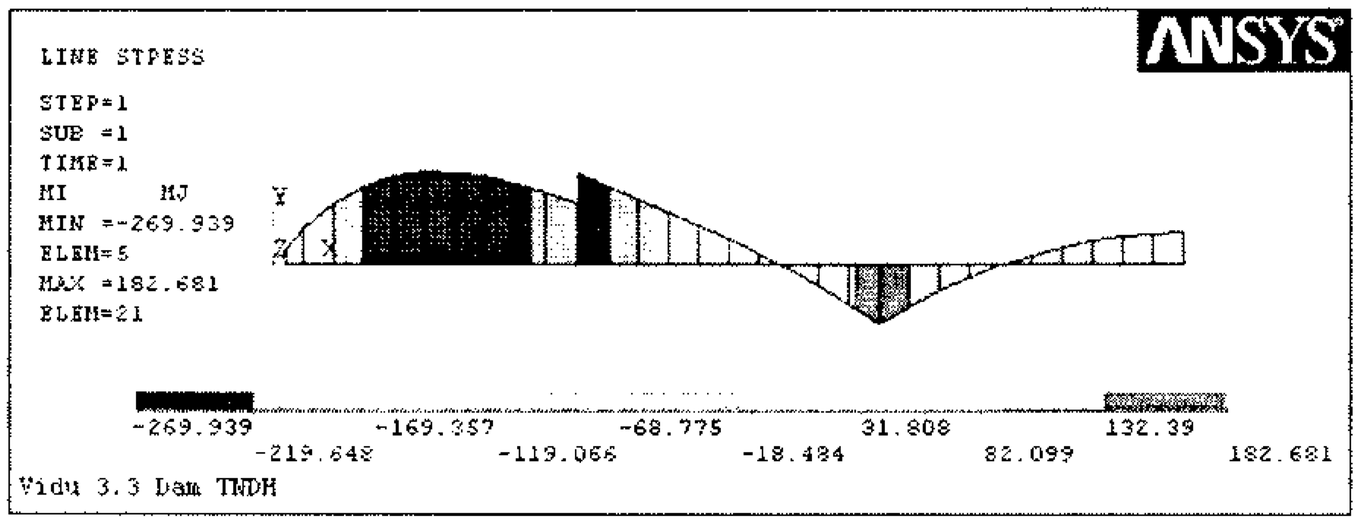
- *Chạy chương trình*: Solution > Solve > Currunt LS > Khi có thông báo Solution is done > Close.

- *Độ võng của dầm*: General Postproc > Plot Results > Deformed Shape > Thông báo phía góc trên phải hình 3.55 cho biết chuyển vị lớn nhất tại đầu trái dầm DMX = -0.03526m.



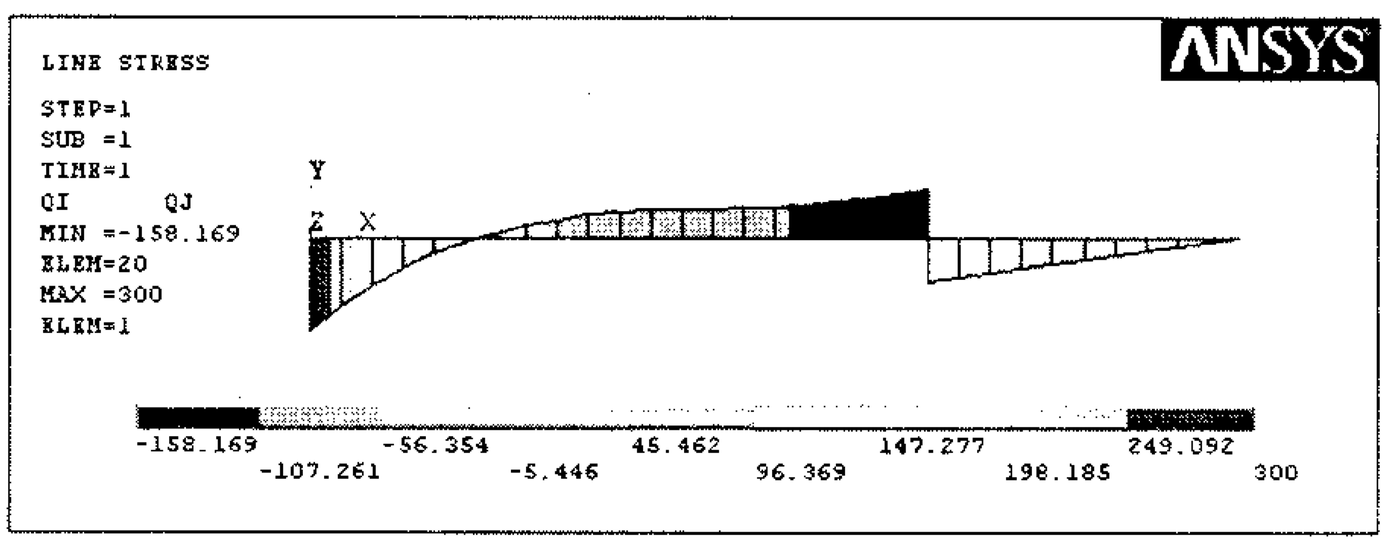
Hình 3.55. *Hình dạng biến dạng của dầm*

- *Hiển thị biểu đồ mômen uốn:* General Postprocessor > Plot Resul > Contour Plot > Line Element Result > Plot Line- Element Results > Chọn mã nội lực ở nút I là MI và nút J là MJ > OK, ta có biểu đồ mômen uốn như ở hình 3.56.



Hình 3.56. *Biểu đồ mômen uốn*

- *Hiển thị biểu đồ mômen uốn:* Cũng thực hiện tương tự với mã nút I là QI, với nút J là QJ > OK, ta có biểu đồ lực cắt như ở hình 3.57.



Hình 3.57. *Biểu đồ lực cắt*

2. Giải theo phương thức APDL

Copy các lệnh ở trên được soạn thảo trong Word vào phần mềm Notepad có tên file là Vidu 3.3-Dam TNDH.txt được lưu trong ổ D\ Thư mục Z.BT-ANSYS (3), cho chạy chương trình và khai thác kết quả tính toán.

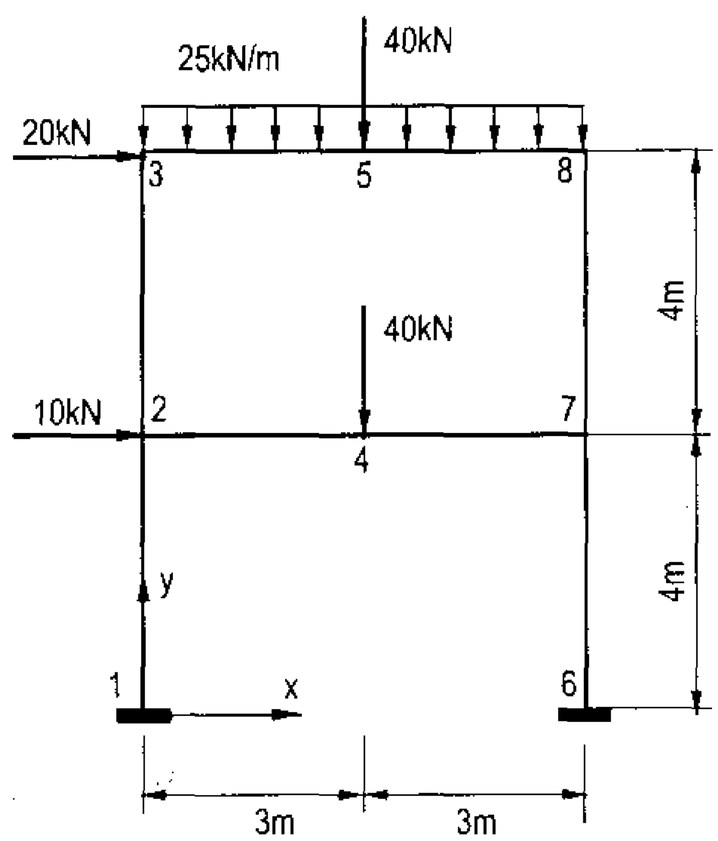
Vidu 3.3-DTNDH - Notepad

File Edit Format View Help

```
/TITLE,Vidu 3.3 Dam TNDH
/PREP7
K,1,0,0,0
KGEN,4,1,4,1,4
L,1,2
L,2,3
L,3,4
ET,1,Beam54
R,1,0.8,0.04267,0.8
RMODIF,1,16,60000
MP,EX,1,1.94E7
MP,PRXY,1,0.2
ESIZE,0.4
LMESH,ALL
/SOLUTION
ANTYPE,0
DK,1,UX,0
FK,1,FY,-300
FK,3,FY,-300
FK,2,MZ,90
FK,4,MZ,-90
SFBEAM,11:30,1,PRES,20
/SOLU
SOLVE
/POST1
ETABLE,MI,SMISC,6
ETABLE,MJ,SMISC,12
ETABLE,QI,SMISC,2
ETABLE,QJ,SMISC,8
ETABLE,NI,SMISC,1
ETABLE,NJ,SMISC,7
PRETAB
PLLS,MI,MJ,-1
FINISH
```

• Ví dụ 3.4. Khung phẳng hai tầng một nhịp

Xác định chuyển vị và nội lực của khung phẳng 2 tầng 1 nhịp có sơ đồ tính toán cho ở hình 3.58. Dầm và cột tiết diện chữ nhật, dầm có kích thước b×h = (0.3×0.6)m, cột có b×h = (0.3×0.45)m. Vật liệu bê tông có $E = 2.4\times10^7 kN/m^2$, $\mu = 0.2$



Hình 3.58. Sơ đồ tính toán

1. Giải theo phương thức GUI

- *Đặt tên cho bài toán:* Từ menu File > Change Title > Xuất hiện bảng Change Title Nhập: "Vidu 3.4-Khung phang 2T1N" > OK.

- *Chọn hệ đơn vị*: kN, m.

- *Tạo 8 điểm nút*: Từ menu Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS > Xuất hiện bảng Create Keypoints in Active Coordinate System:

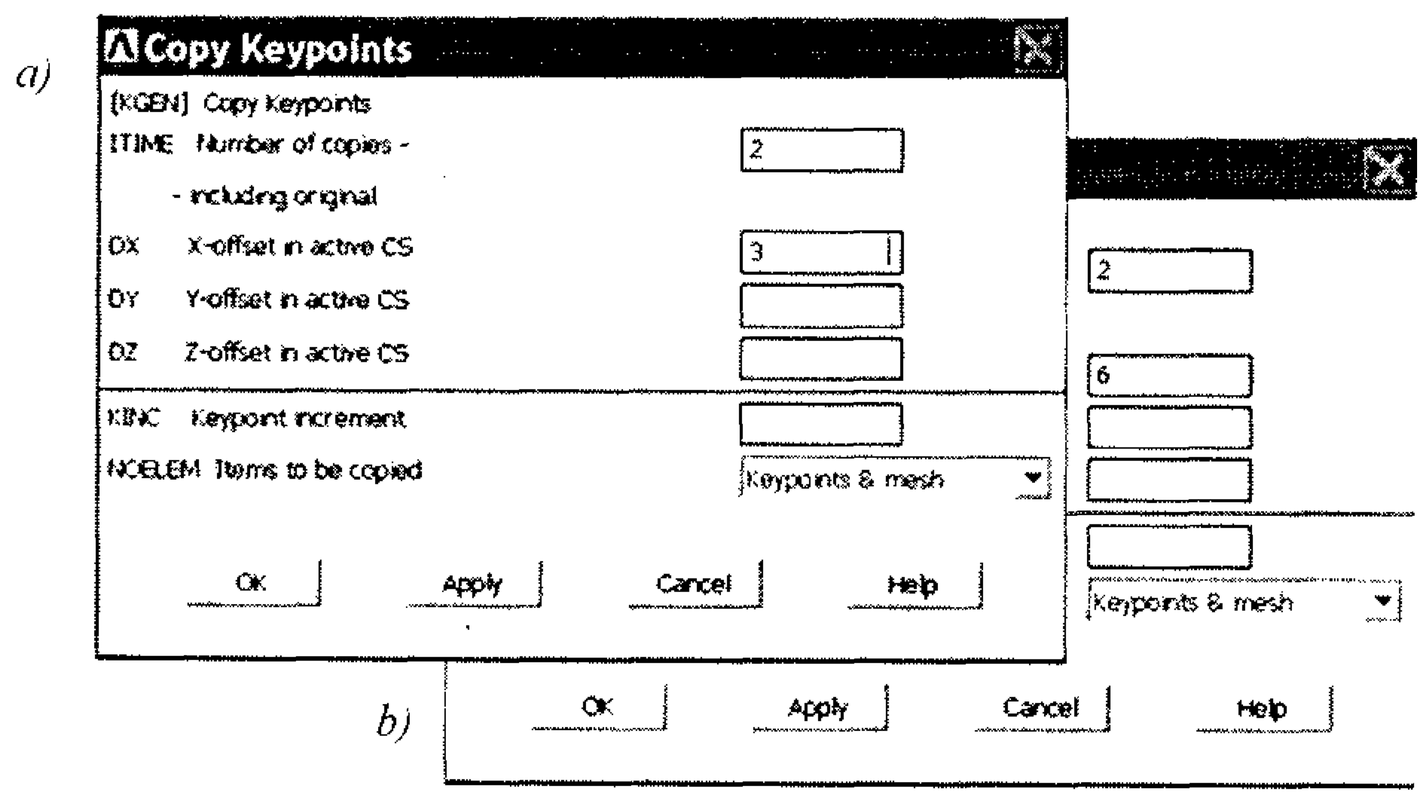
Nhập điểm nút 1 với tọa độ X=0, Y=0, 0 > Apply

Nhập điểm nút 2 với tọa độ X=0, Y=4, Z=0 > Apply

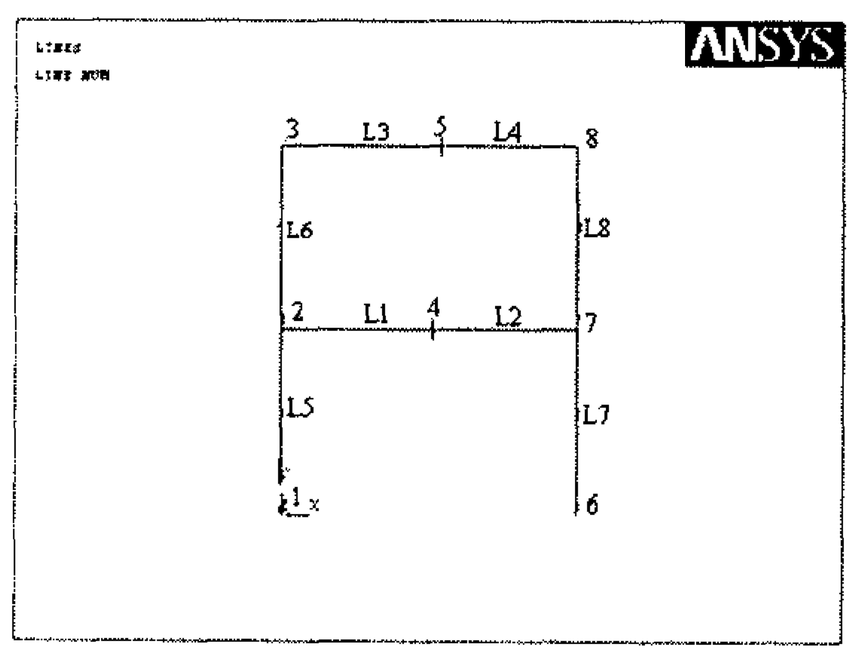
Nhập điểm nút 3 với tọa độ X=0, Y=8, Z=0 > OK

- *Copy điểm nút 1 tạo 2 điểm nút 4 và 5*: Preprocessor > Modeling > Copy > Keypoints > Xuất hiện bảng Copy Keypoints > Nhấn chuột vào nút 2, 3 > Apply > Xuất hiện bảng Copy Keypoints như ở hình 3.59a > Nhập ITIME=2 và DX=3 > Apply, ta có 2 điểm 4, 5. Tiếp tục nhấn chuột vào điểm 1, 2, 3 > Apply > Xuất hiện bảng Copy Keypoints như ở hình 3.59b > Nhập ITIME=2 và DX=6 > OK, ta có thêm 3 điểm nữa là 6, 7 và 8 như ở hình 3.59.

- *Vẽ các thanh của khung*: Từ Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Straight Line > Nhấn chuột lần lượt vào nút 2-4, 4-7, 3-5, 5-8, 1-2, 2-3, 6-7 và 7-8, ta có kết cấu khung 2 tầng 1 nhịp như ở hình 3.60.



Hình 3.59. *Lệnh Copy các điểm 4, 5, 6, 7, 8*



Hình 3.60. *Mã điểm và mã đường của khung*

- *Định nghĩa loại phần tử:* Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Xuất hiện Element Type > Add > Xuất hiện bảng Library of Element Types > Add > Chọn phần tử Beam ở cửa sổ trái > Chọn 2D Elastic3 ở cửa sổ phải > OK > Close.

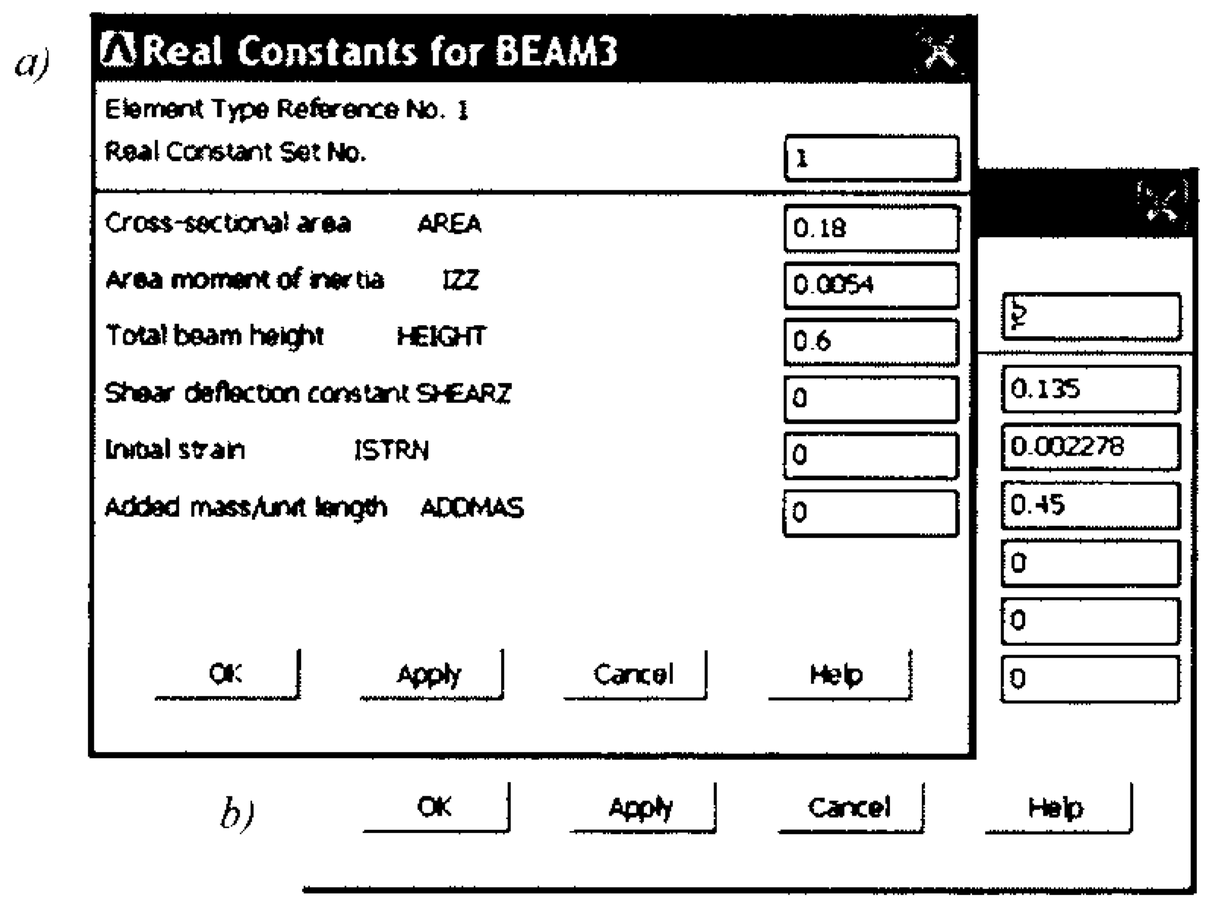
- *Định nghĩa đặc trưng hình học tiết diện dầm và cột*: Preprocessor > Real Constant > Xuất hiện bảng Real Constant Set Number 1, for BEAM3 và nhập các số liệu sau cho phần tố dầm như ở hình 3.61a:

Real Constant Set No1, AREA = 0.18, IZZ = 0.0054, HEIGHT = 0.6 > Apply

Tiếp tục nhập cho phân tố cột như ở hình 3.61b:

Real Constant Set No 2: AREA = 0.135, IZZ = 0.002278, HEIGHT=0.45 > OK

- *Định nghĩa đặc tính của vật liệu*: Preprocessor > Material Props > Material Model > Define Material Model Behavior > Structural > Linear > Elastic > Isotropic Linear Isotropic Properties for Material 1 > Nhập EX = 2.4×10^7kN/m^2 và PRXY = 0.2 > Nhấn Material > Exit.



Hình 3.61. *Định nghĩa hằng số thực cho BEAM3*

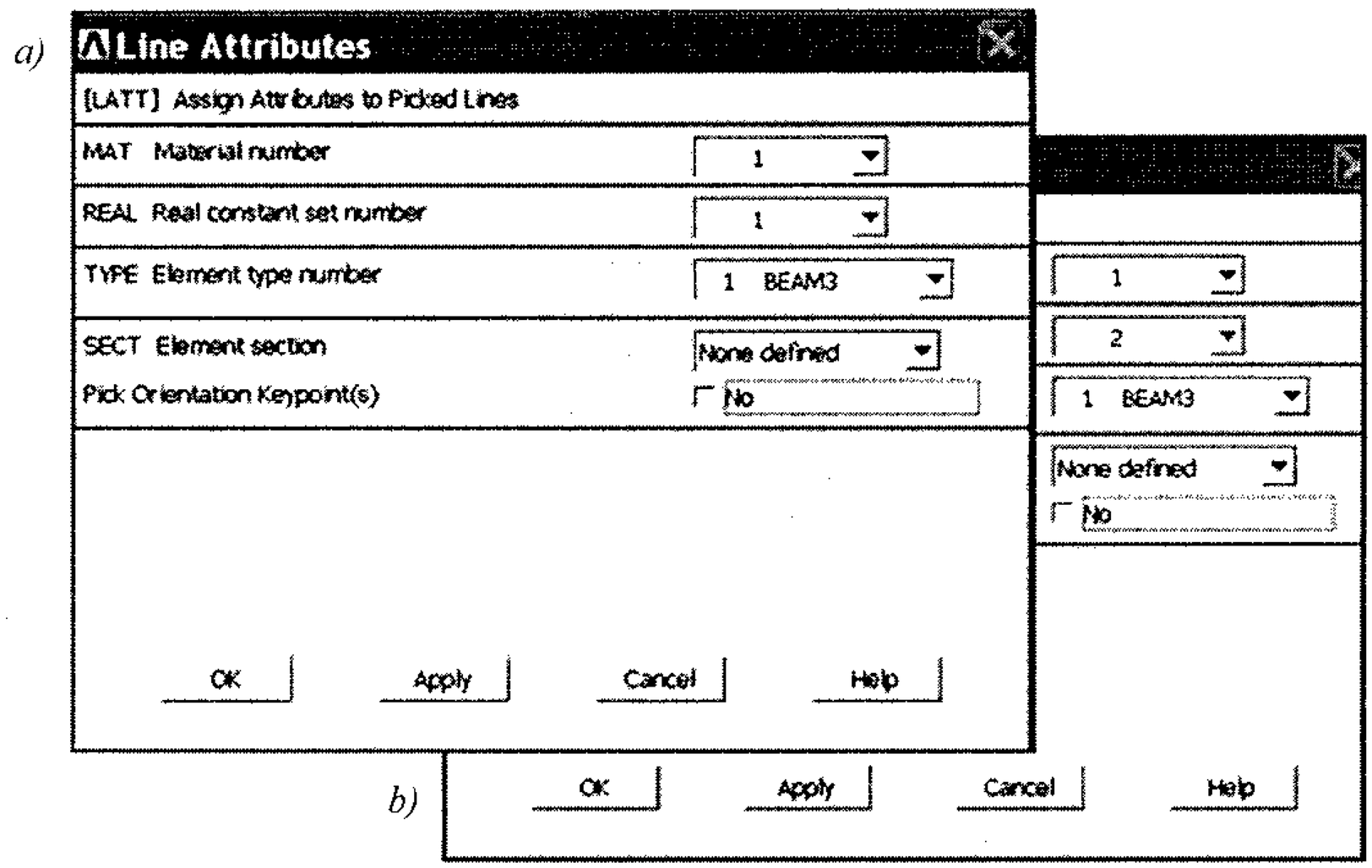
- *Chọn kích thước lưới*: Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > Manual Size > Lines > All Lines > Xuất hiện bảng Element Sizes on All Selected Lines > Nhập số lượng đoạn chia cho một phân tố dầm và cột NDIV = 5 > OK.

- *Gán thuộc tính cho các phân tố dầm và cột:* Preprocessor > Meshing > Mesh Distributed > Lines > Pick Lines > Nhấn chuột vào các phần tố dầm (đường L1, L2, L3, L4) > Apply > Xuất hiện bảng Line Attributes > Nhập các thuộc tính của dầm như ở hình 3.62a:

MAT=1, REAL=1, TYPE=1 BEAM3 > Apply

Tiếp tục nhấn chuột vào các cột (đường L5, L6, L7, L8) > Apply > Xuất hiện bảng Line Attributes > Nhập các thuộc tính của dầm như ở hình 3.62b:

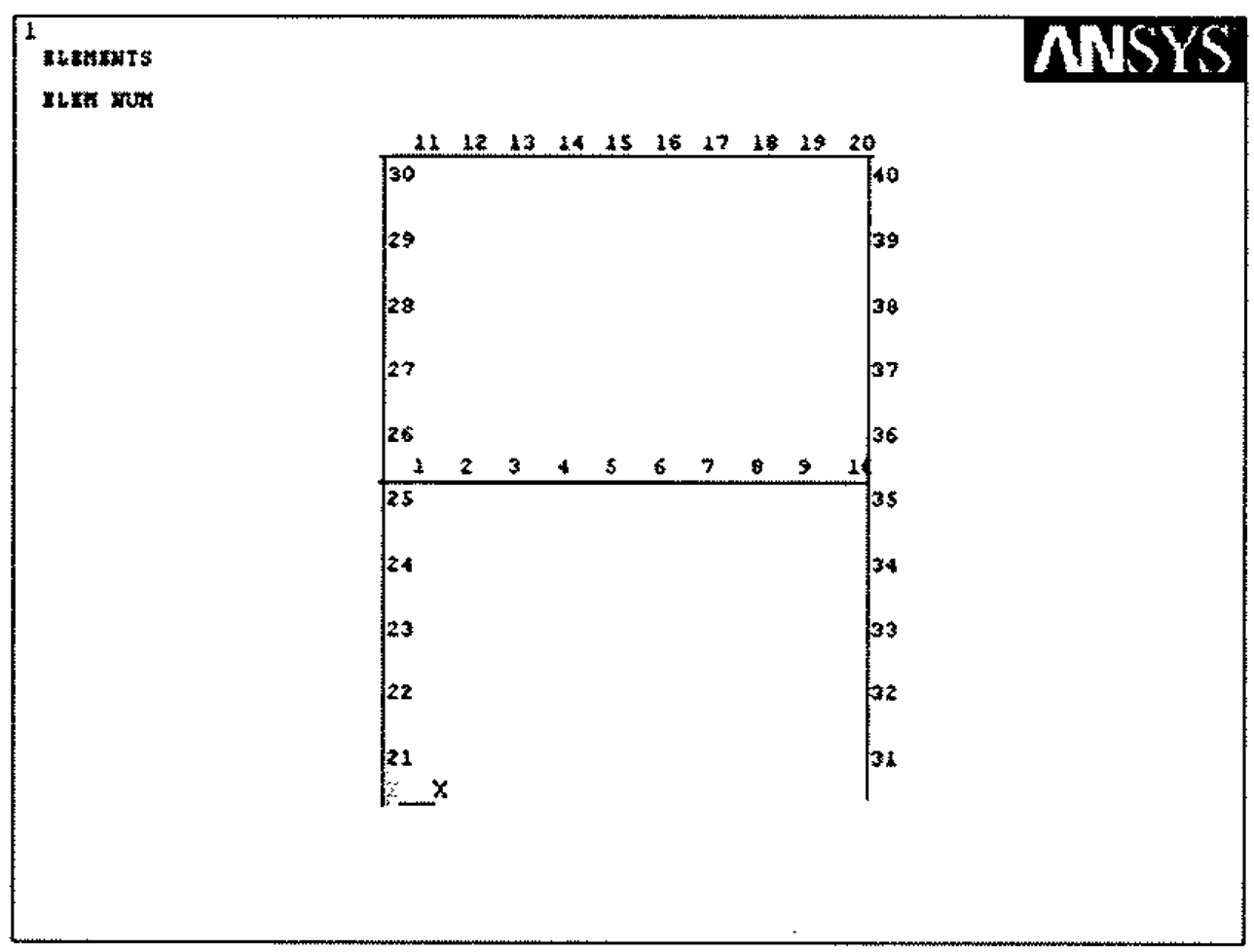
MAT=1, REAL=1, TYPE=1 BEAM3 > OK



Hình 3.62. *Gán thuộc tính cho dầm và cột*

- *Chia lưới phần tử*: Preprocessor > Meshing > Mesh > Lines > Mesh Lines > Pick All

- *Hiển thị mã phần tử:* Plot > Elements > PlotContrls > Numbering > Xuất hiện bảng Element Numbers ở Elem/Attrib Number > Chọn Number only ở [/NUM] > OK, ta có mã các phần tử ở dầm và cột như ở hình 3.63.



Hình 3.63. *Mã các phần tử Beam ở dầm và cột*

- *Định nghĩa kiểu phân tích*: Solution > Analysis Type > New Analysis > Xuất hiện bản New Analysis > Chọn ⊙ Static > OK.

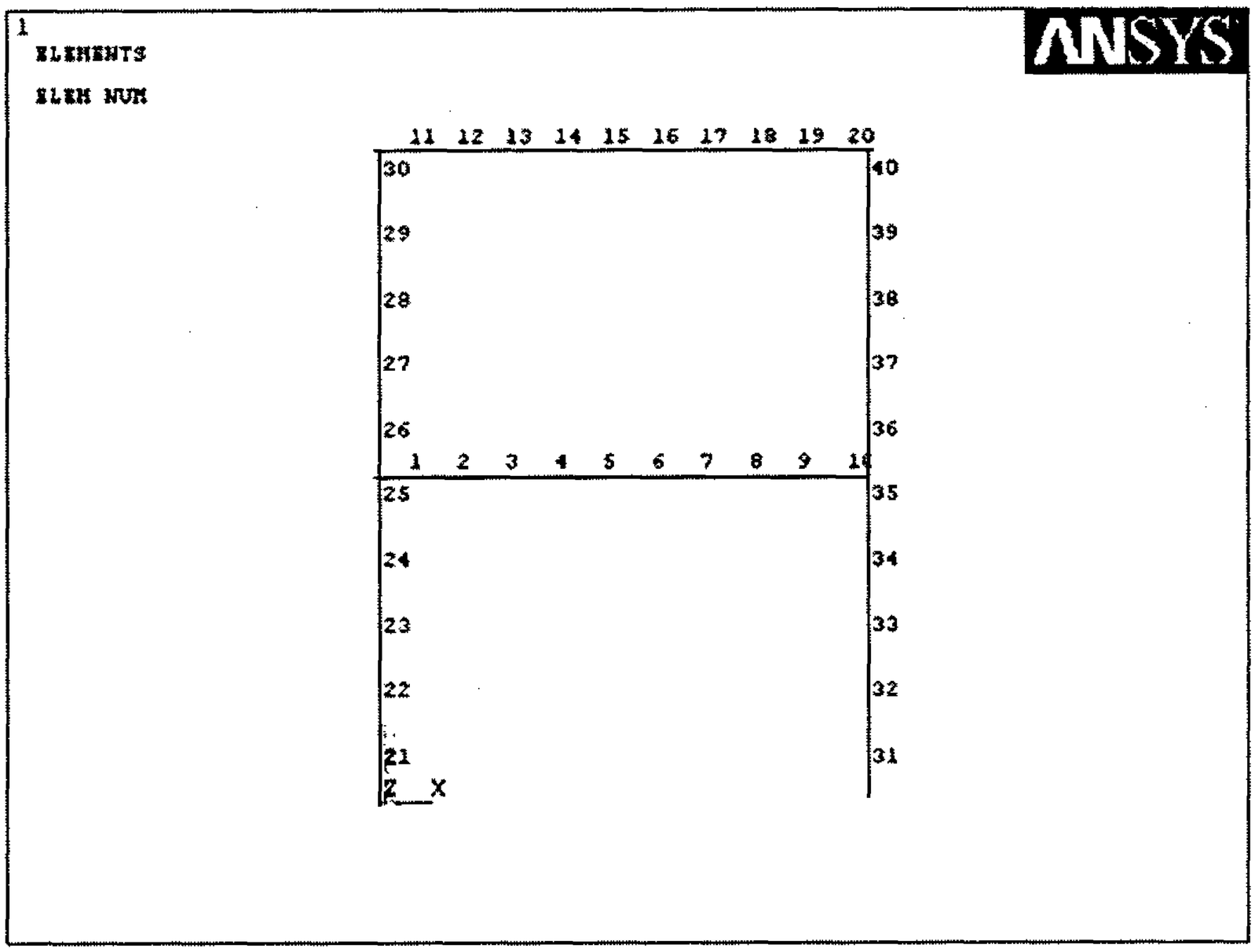
- *Gán liên hết:* Solution > Define Loads > Apply > Displacement > On Keypoints > Chọn điểm 1 và 6 > OK > Xuất hiện bảng Apply U, ROT on KPs > Chọn All DOF > Nhập giá trị chuyển vị VALUE = 0 > OK.

- *Gán tải trọng tập trung*: Solution > Define Load > Apply > Structural > Force /Moment > Chọn điểm 2 > Apply > Apply F/M on KPs > Chọn FX, nhập VALUE=50 > Chọn điểm 3 > Apply > Apply F/M on KPs > Chọn FX, nhập VALUE=100 > Apply > Chọn điểm 4, 5 > Apply > Apply F/M on KPs > Chọn FY, nhập VALUE=- 200 > OK.

- *Gán tải trọng phân bố đều*: Solution > Define Load > Apply > Structural > Pressure > Nhấn chuột vào các phần tử thuộc đường L1, L2, L3 và L4 từ phần tử 1 đến 20 (xem hình 3.63) > OK > Pressure on Beams > Nhập VALUE=25 > OK.

- *Chạy chương trình:* Từ menu Solution > Solve > Currunt LS > Thông báo Solution is done > Close.

- *Hiển thị biểu đồ biến dạng*: General Postproc > Plot Results > Contour Plot > DOFs > UX > OK > Ta có hình dạng biến dạng của khung cho ở hình 3.64, chuyển vị SMX= 0.021498m. và chuyển vị DMX=0.02499m.



Hình 3.64. *Hình dạng biến dạng của khung*

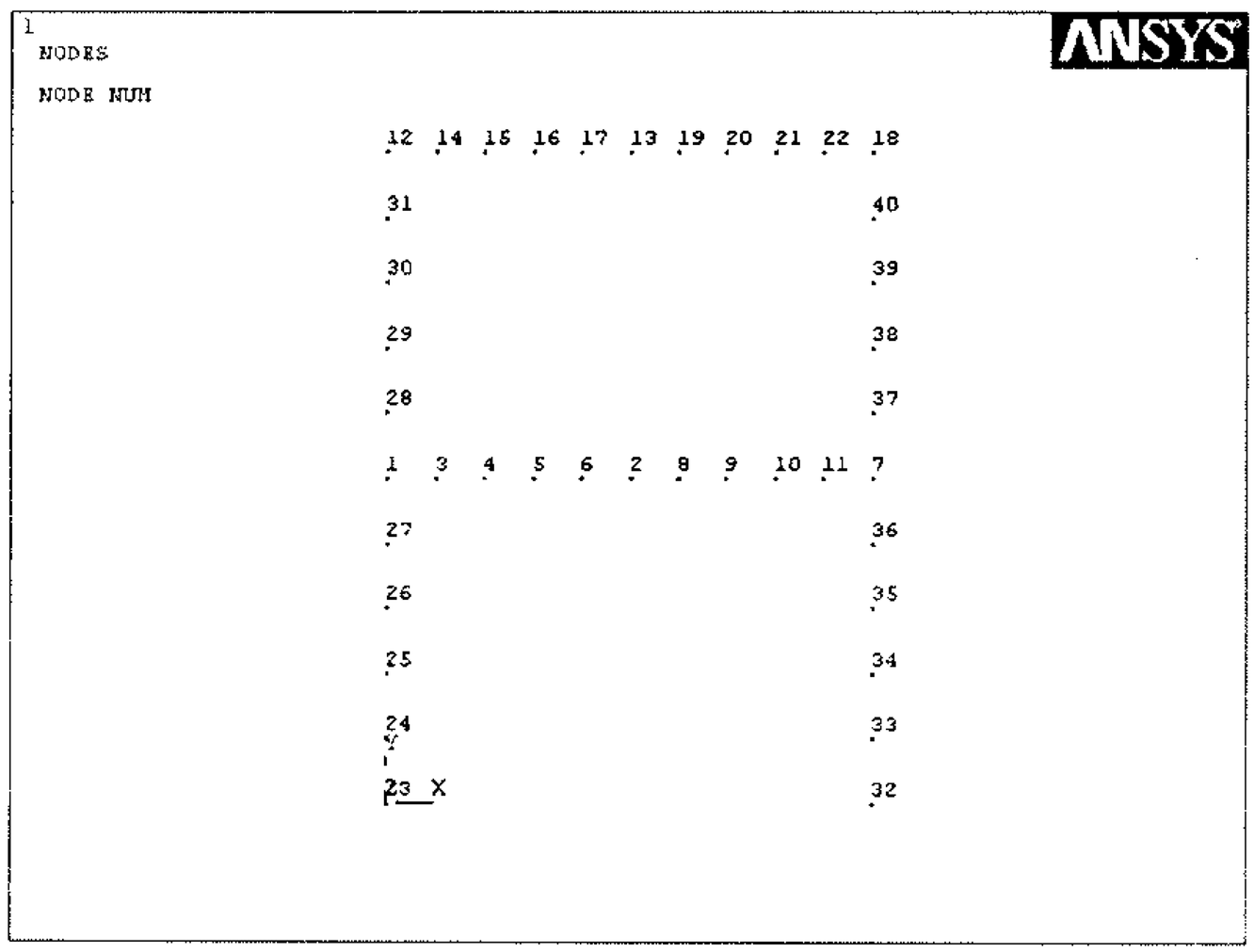
- *Xuất giá trị chuyển vị của các nút*: General Postproc > List Results > Nodal Solution > DOF Solution > Displacement Vector SUM > Xuất bảng PRNSOL Command cho giá trị 40 điểm nút, trong bảng 3.11 chỉ chọn in chuyển vị ở một số điểm nút. Vị trí các điểm nút được thể hiện ở hình 3.65.

Bảng 3.11. Giá trị chuyển vị tại một số nút

PRNSOL Command

File

```
PRINT U    NODAL SOLUTION PER NODE

 ***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

 LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
  TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0

 THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL
COORDINATE SYSTEM

    NODE       UX          UY          UZ          USUM
       1  0.10688E-01-0.10384E-02  0.0000     0.10739E-01
       2  0.10736E-01-0.10099E-01  0.0000     0.14739E-01
       3  0.10698E-01-0.38035E-02  0.0000     0.11354E-01
       4  0.10707E-01-0.65139E-02  0.0000     0.12533E-01
       5  0.10717E-01-0.86853E-02  0.0000     0.13794E-01

      38  0.15199E-01-0.15601E-02  0.0000     0.15279E-01
      39  0.19038E-01-0.16865E-02  0.0000     0.19113E-01
      40  0.21498E-01-0.18129E-02  0.0000     0.21574E-01

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES
NODE          40          13          0          13
VALUE   0.21498E-01-0.13756E-01  0.0000     0.24990E-01
```



Hình 3.65. *Vị trí các điểm nút (Nodes)*

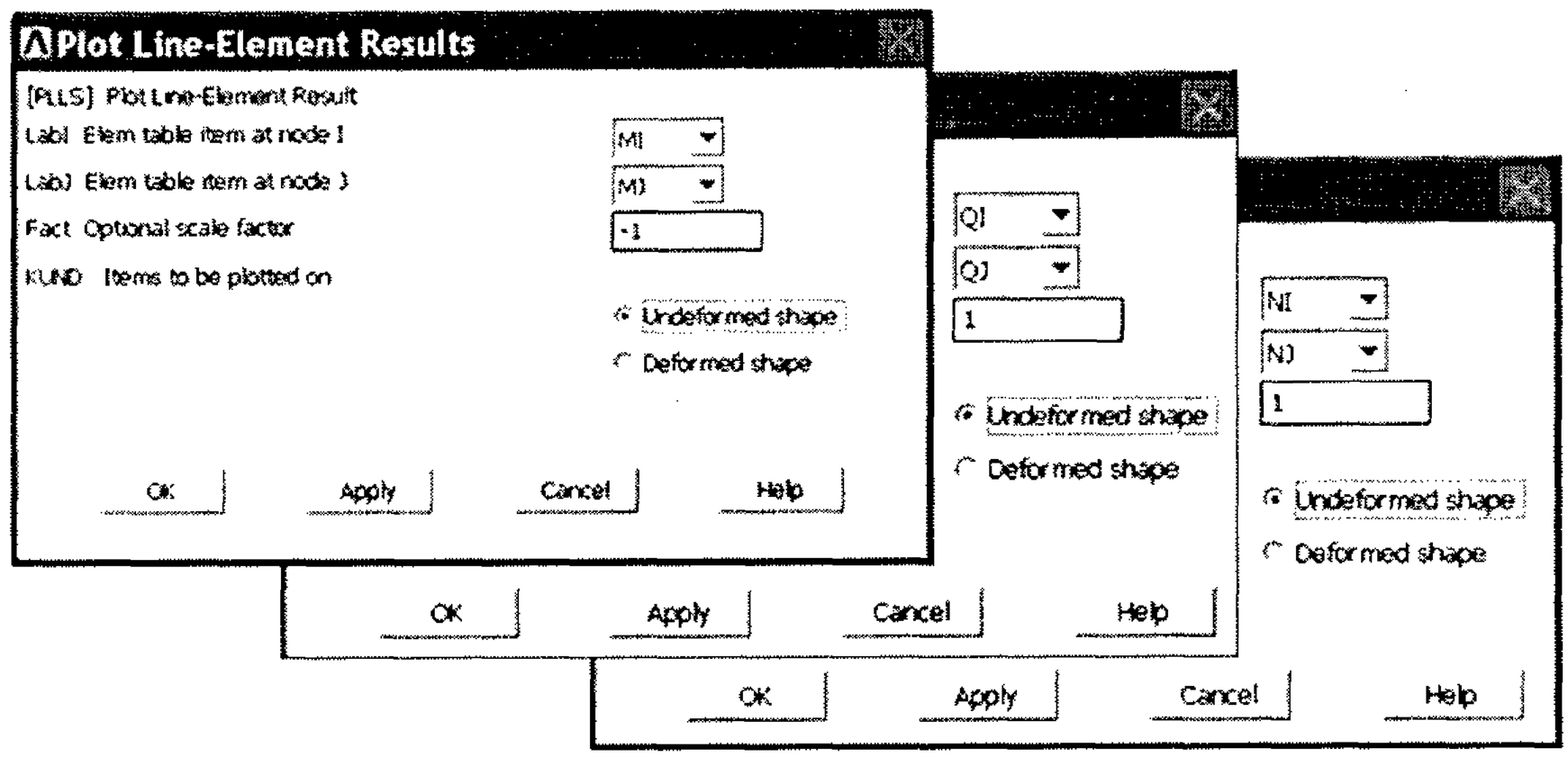
- *Định nghĩa mã nội lực phần tử dầm:* General Postprocessor > Element Table > Define Table > Define Adđitional Element Table Items:

Lực dọc: NI với SMSC, 1; NJ với SMSC, 7

Lực cắt: QI với SMSC, 2; QJ với SMSC, 8

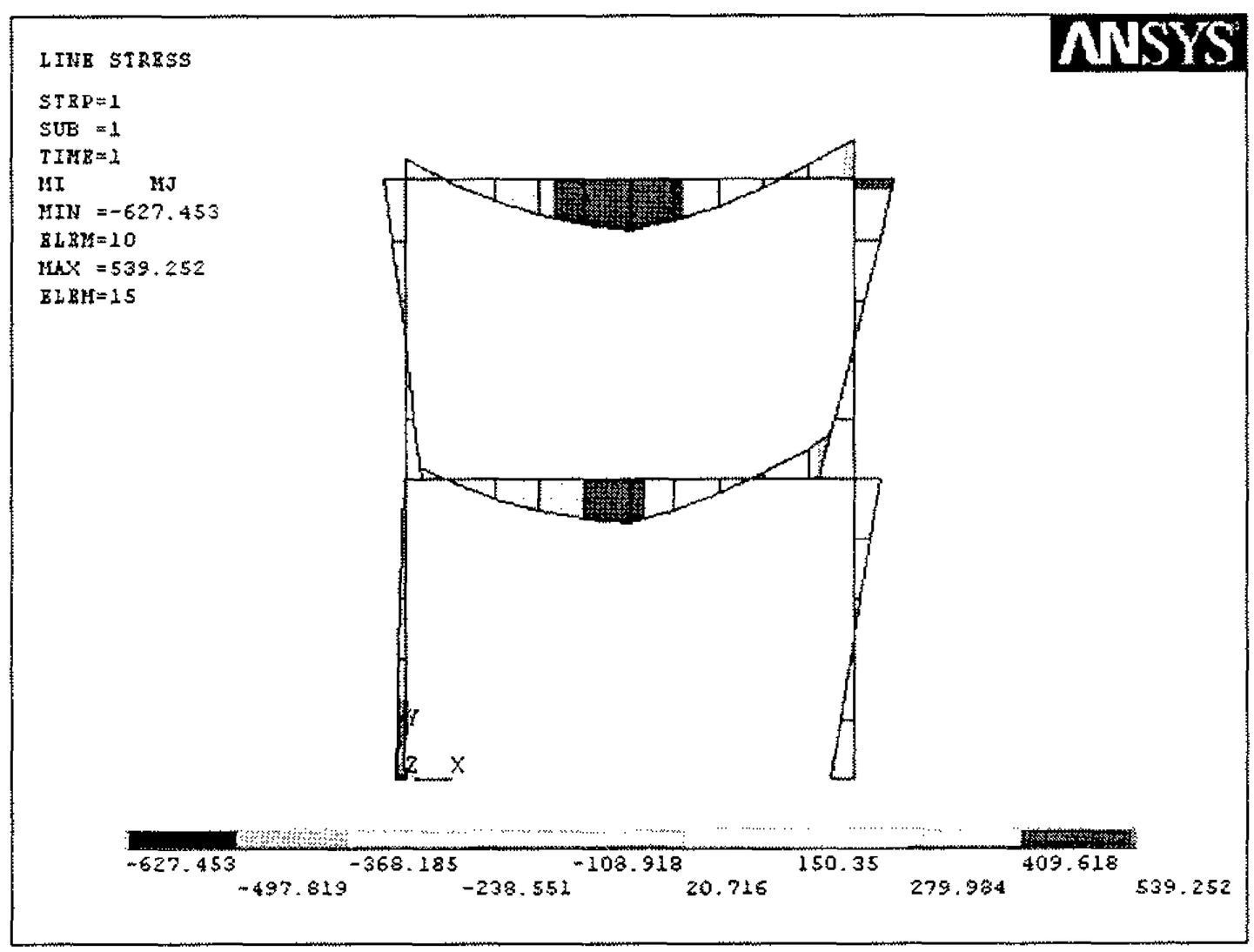
Mômen uốn: MI với SMSC,6; MJ với SMSC,12.

- *Hiển thị biểu đồ nội lực:* General Postprocessor > Plot Result > Contour Plot > Line Element Result > Plot Line- Element Results > Chọn mã mômen uốn, lực cắt và lực dọc ở hai nút I và J như ở hình 3.66 > OK > Biểu đồ mômen uốn, biểu đồ lực cắt và lực dọc lần lượt được thể hiện trên các hình 3.67, 3.68 và 3.69.

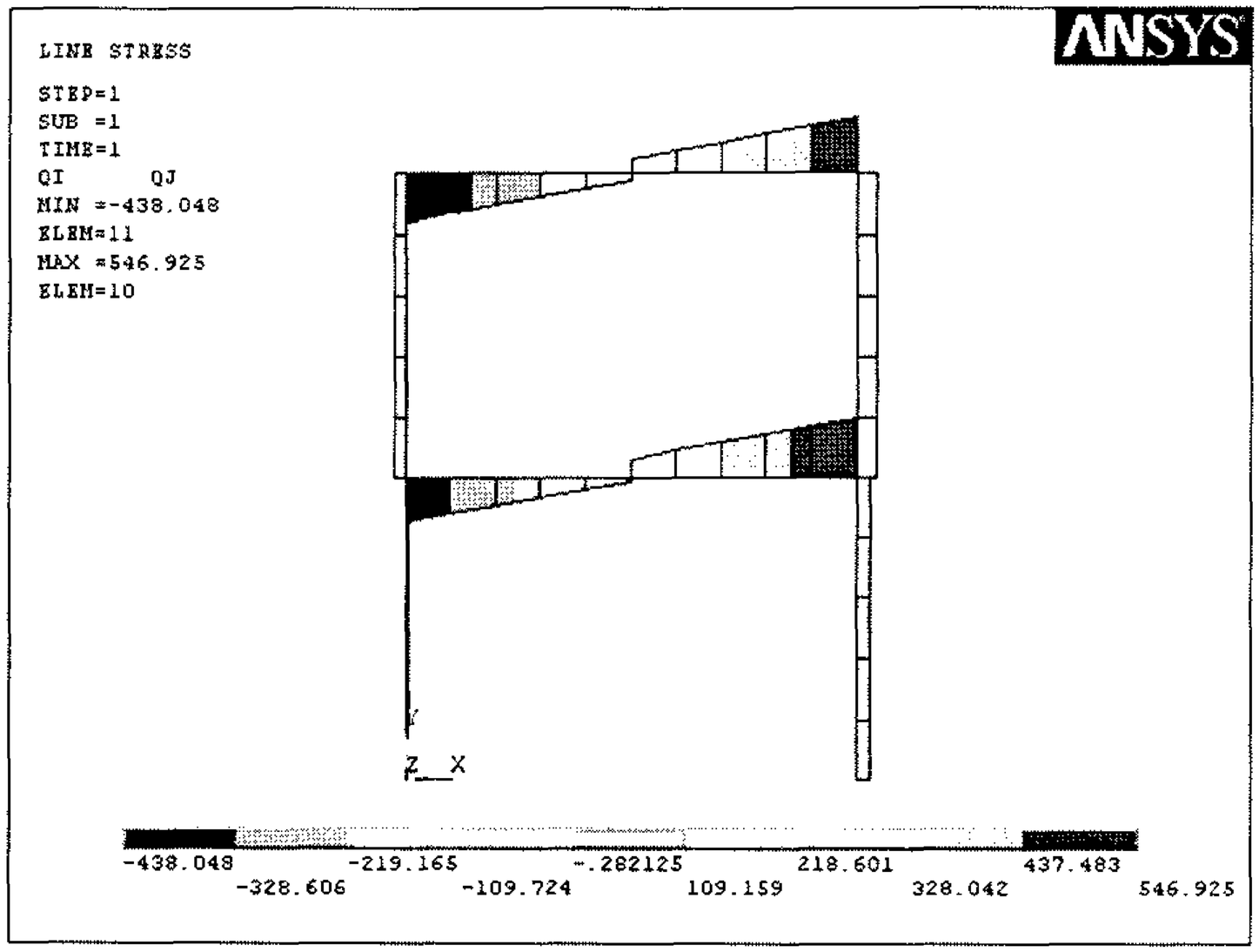


Hình 3.66. *Lệnh xuất biểu đồ mômen uốn, lực cắt và lực dọc*

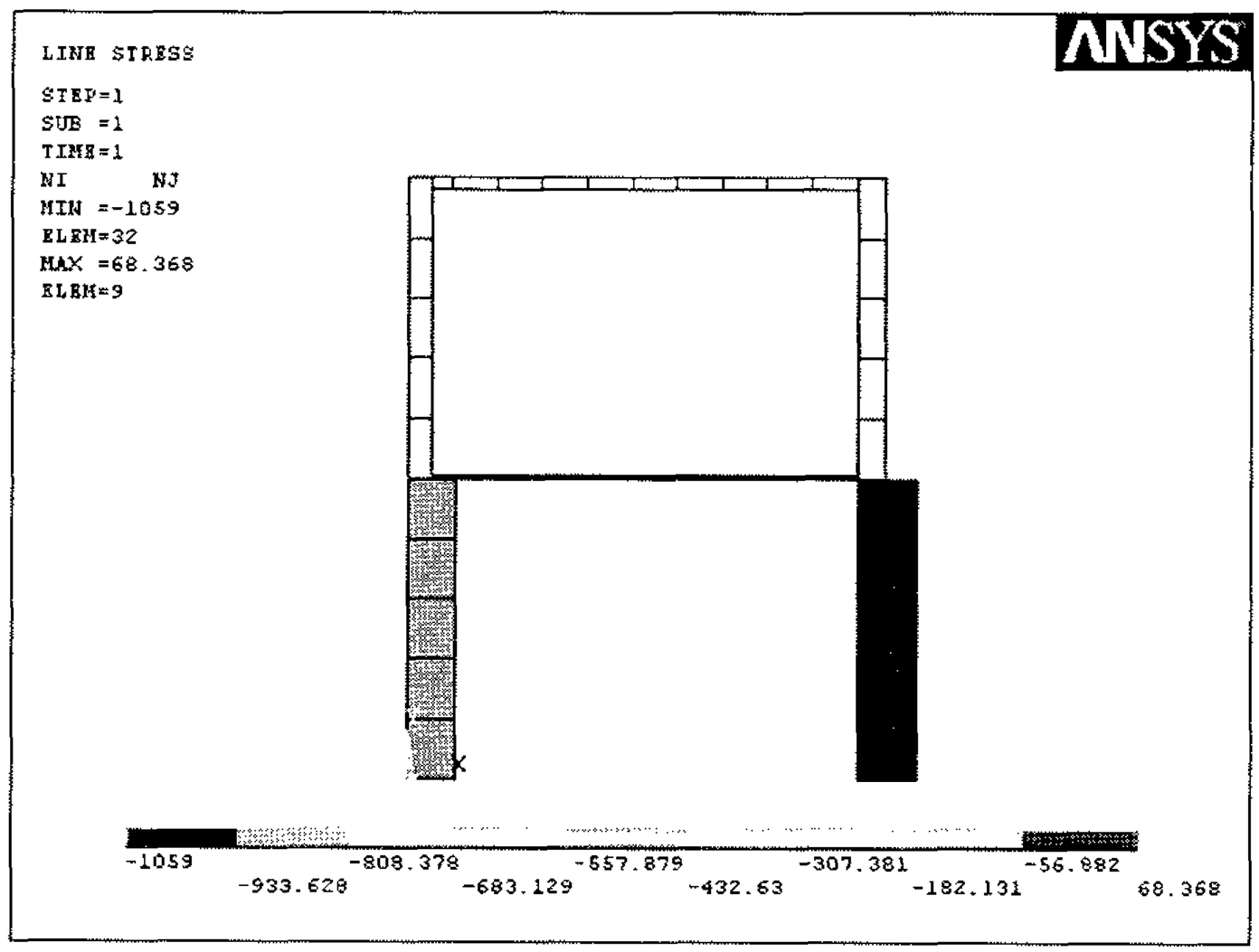
Từ các biểu đồ nội lực ở dưới cho biết mômen uốn M nhỏ nhất MIN=-627.453kNm và lớn nhất MAX=539.252kNm, lực cắt Q nhỏ nhất MIN=438.048kN và lớn nhất MAX= 546.925 kN, lực dọc N nhỏ nhất MIN=-1059kN và lớn nhất MAX=68.368 kN.



Hình 3.67. *Biểu đồ mômen uốn*



Hình 3.68. Biểu đồ lực cắt



Hình 3.69. Biểu đồ lực dọc

2. Giải theo phương thức APDL

Copy các lệnh dưới đây được soạn thảo trong Word vào phần mềm Notepad có tên file là Vidu 3.4-Khung 2T1N. txt được lưu trong ổ D\ Thư mục Z.BT-ANSYS (3) với đường dẫn D\ > Z BT-ANSYS (3) > Vidu 3.4-Khung 2T1N.txt.

```
/TITLE, Vi du 3.4 - Khung phang 2T1N
/PREP7
ET,1,BEAM3
R,1,0.018,0.0054,0.6
R,2,0.0135,0.002278,0.45
MP,EX,1,2.4E+7
MP,PRXY,1,0.2
K,1,0,0,0
K,2,0,4,0
K,3,0,8,0
KGEN,2,2,3,1,3
KGEN,2,1,3,1,6
TYPE,1
MAT,1
REAL,1
L,2,4
L,4,7
L,3,5
L,5,8
ESIZE,0,5
LMESH,ALL
TYPE,1
MAT,1
REAL,2
L,1,2
L,2,3
L,6,7
L,7,8
ESIZE,0,5
LMESH,ALL
ANTYPE,0
DK,1,ALL
DK,6,ALL
FK,4,FY,-200
FK,5,FY,-200
FK,2,FX,50
FK,3,FX,100
SFBEAM,1:20,1,PRES,25
/SOLU
```

```
SOLVE
/POST1
ETABLE,MI,SMISC,6
ETABLE,MJ,SMISC,12
ETABLE,QI,SMISC,2
ETABLE,QJ,SMISC,8
ETABLE,NI,SMISC,1
ETABLE,NJ,SMISC,7
FINISH
```

Sau đó mở phần mềm ANSYS > Nhấn chuột > New Analysis > Nhập Vidu 3.4-Khung 2T1N ở Analysis Jobname > OK > Nhấn File > Read Input from > Read File > Vào D\Chọn Z.BT-ANSYS (3) > Chọn file Vidu 3.4-Khung 2T1N.txt > OK. Sau khi nhấn OK chương trình sẽ chạy, khi có thông báo Solution is done > Nhấn Closevà khai thác kết quả tính toán.

Xuất giá trị nội lực: General Postproc > List Result > Element Table Data > List Result Table Data > Chọn Items 1-10 GRP1 > OK, có bảng 3.12 cho giá trị nội lực của các phần tử.

Bảng 3.12. Giá trị nội lực của các phần tử

PRETAB Command

File

PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT

***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING *****

STAT ELEM	CURRENT MI	CURRENT MJ	CURRENT QI	CURRENT QJ	CURRENT NI	CURRENT NJ
1	-195.90	23.441	-403.08	-328.08	68.368	68.368
2	23.441	197.79	-328.08	-253.08	68.368	68.368
3	197.79	327.13	-253.08	-178.08	68.368	68.368
4	327.13	411.48	-178.08	-103.08	68.368	68.368
5	411.48	450.82	-103.08	-28.075	68.368	68.368
35	167.61	271.02	-129.27	-129.27	-1058.9	-1058.9
36	-356.43	-198.33	-197.63	-197.63	-511.95	-511.95
37	-198.33	-40.218	-197.63	-197.63	-511.95	-511.95
38	-40.218	117.89	-197.63	-197.63	-511.95	-511.95
39	117.89	276.00	-197.63	-197.63	-511.95	-511.95
40	276.00	434.11	-197.63	-197.63	-511.95	-511.95

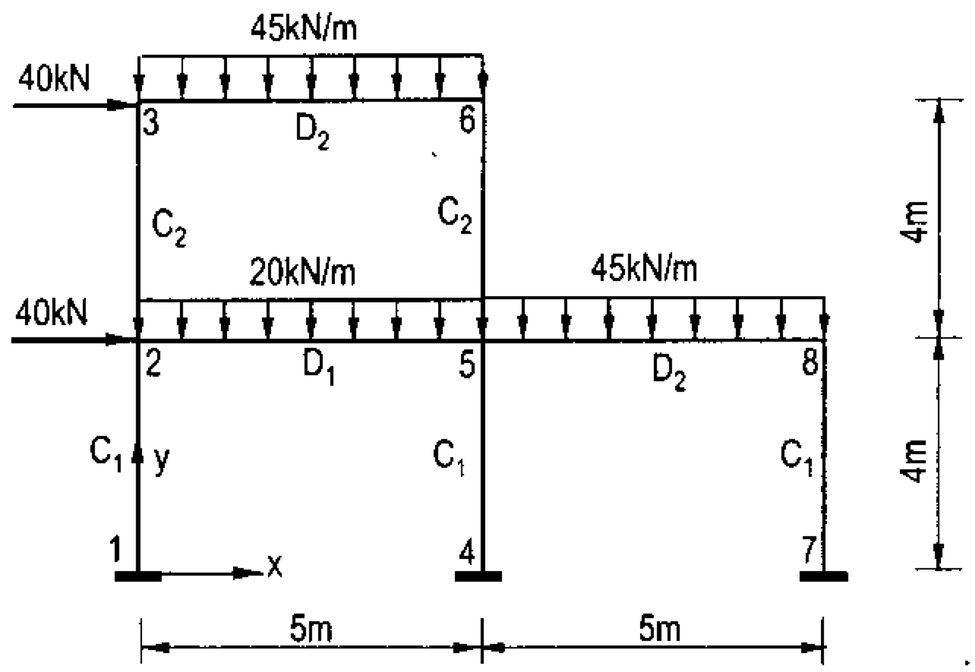
***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING *****

STAT ELEM	CURRENT MI	CURRENT MJ	CURRENT QI	CURRENT QJ	CURRENT NI	CURRENT NJ
MINIMUM VALUES						
ELEM	36	10	11	11	32	32
VALUE	-356.43	-627.45	-438.05	-363.05	-1058.9	-1058.9
MAXIMUM VALUES						
ELEM	16	15	10	10	9	9
VALUE	539.25	539.25	471.92	546.92	68.368	68.368

Từ bảng 3.12 cho biết giá trị mômen uốn M nhỏ nhất MIN = -627.45kNm và lớn nhất MAX=539.25kNm. Lực cắt Q nhỏ nhất MIN=-438.05kN và lớn nhất MAX=546.92 kN. Lực dọc N nhỏ nhất MIN=-1058.9kN và lớn nhất MAX=68.368kN hoàn toàn trùng khớp với kết quả tính theo phương thức GUI.

• **Ví dụ 3.5. Khung phẳng 2T2N**

Xác định nội lực và chuyển vị của khung phẳng 2 tầng 2 nhịp có sơ đồ tính toán cho ở hình 3.70. Dầm và cột tiết diện chữ nhật có kích thước như sau: Dầm D1-b×h = 0.2×0.45m, D2-b×h=0.2×0.5m, cột C1-b×h=0.2×0.35m, C2-b×h=0.2×0.3m. Vật liệu bê tông có $E=2.4\times10^7 kN/m^2$, $\mu=0.2$.



Hình 3.70. Sơ đồ tính toán khung

- *Đặt tên bài toán*: Từ menu File > Change Title > Xuất hiện bảng Change Title.

Nhập: "Vidu 3.5-Khung phang 2T2N" > OK.

- *Chọn hệ đơn vị*: kN, m.

- *Đặc trưng hình học của tiết diện cột và dầm*: D1 có $A_1= 0.09m^2$, $I_1 = 1.52\times10^{-3} m^4$, h=0.45m; D2 có $A_2=0.10m^2$, $I_2=2.08\times10^{-3}m^4$, h=0.5m; C1 có $A_3=0.07m^2$, $I_3 =7.15\times10^4m^4$, h=0.35; C2 có $A_4=0.06m^2$, $I_4=4.5\times10^{-4}m^4$, h=0.3m.

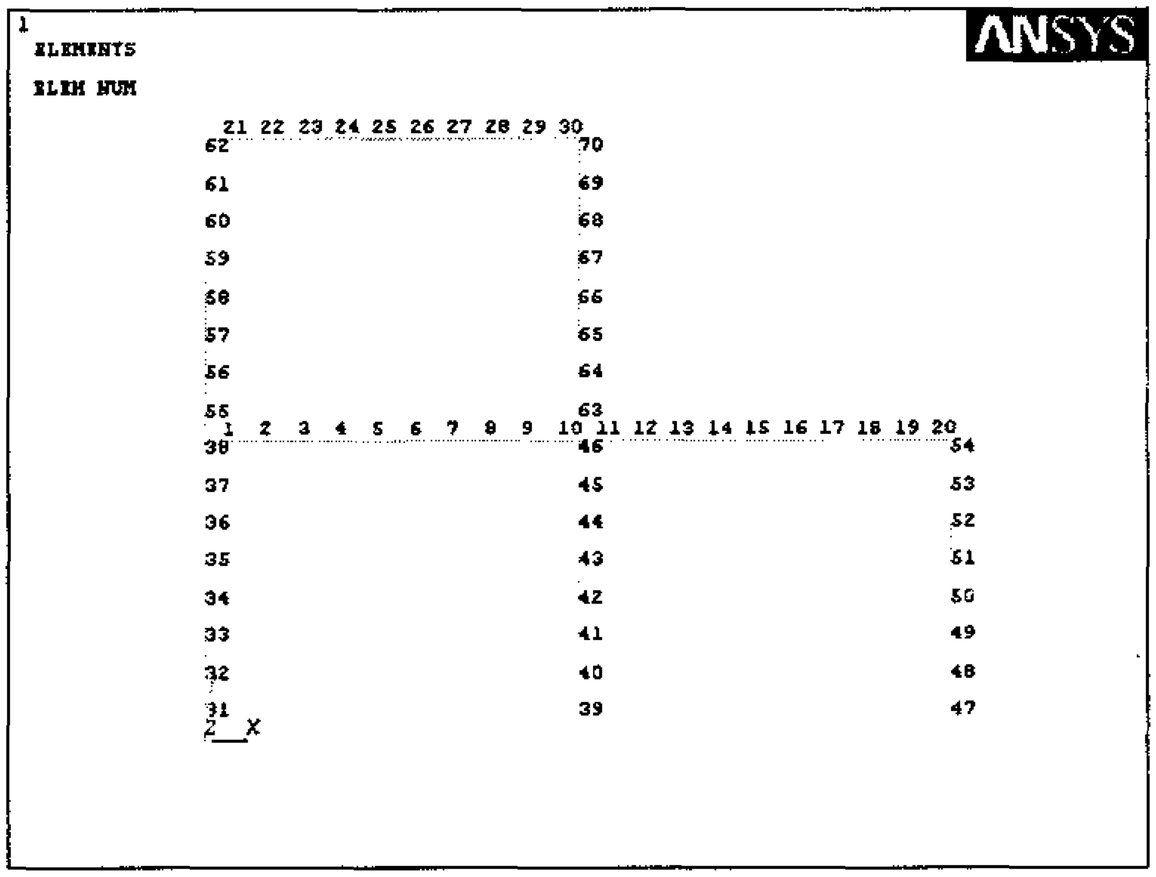
- *Chọn phương thức giải:* Khung trong Ví dụ 3.5 có dạng tương tự như khung trong Ví dụ 3.4, để giải bài toán này ta dùng phương thức APDL, chỉ cần sửa một vài lệnh APDL trong Ví dụ 3.4, ta có file Vidu 3.5 - Khung 2T2N được soạn thảo trong Word như sau:

```
/TITLE, Vidu 3.5 - Khung phang 2T2N
/PREP7
ET,1,BEAM3
R,1,0.09,1.52E-3,0.45
R,2,0.10,2.08E-3,0.5
R,3,0.07,7.15E-4,0.35
R,4,0.06,4.5E-4,0.3
MP,EX,1,2.4E+7
MP,PRXY,1,0.2
K,1,0,0,0
K,2,0,4,0
K,3,0,8,0
```

```
KGEN,2,1,3,1,5
KGEN,2,4,5,1,5
TYPE,1
MAT,1
REAL,1
L,2,5
ESIZE,0,10
LMESH,ALL
TYPE,1
MAT,1
REAL,2
L,5,8
L,3,6
ESIZE,0,10
LMESH,ALL
TYPE,1
MAT,1
REAL,3
L,1,2
L,4,5
L,7,8
ESIZE,0,8
LMESH,ALL
TYPE,1
MAT,1
REAL,4
L,2,3
L,5,6
ESIZE,0,8
LMESH,ALL
ANTYPE,0
DK,1,ALL
DK,4,ALL
DK,7,ALL
FK,2,FX,40
FK,3,FX,80
SFBEAM,1:10,1,PRES,20
SFBEAM,11:30,1,PRES,45
/SOLU
```

```
SOLVE
/POST1
ETABLE,MI,SMISC,6
ETABLE,MJ,SMISC,12
ETABLE,QI,SMISC,2
ETABLE,QJ,SMISC,8
ETABLE,NI,SMISC,1
ETABLE,NJ,SMISC,7
FINISH
```

Chú thích: SFBEAM,1:10,1,PRES,20 - Lực phân bố đều 20kN/m được gán vào các phần tử từ 1 đến 10; SFBEAM,11:30,1,PRES,45 - Lực phân bố đều 45kN/m được gán vào các phần tử từ 11 đến 30. Vị trí các phần tử có thể xem ở hình 3.71.

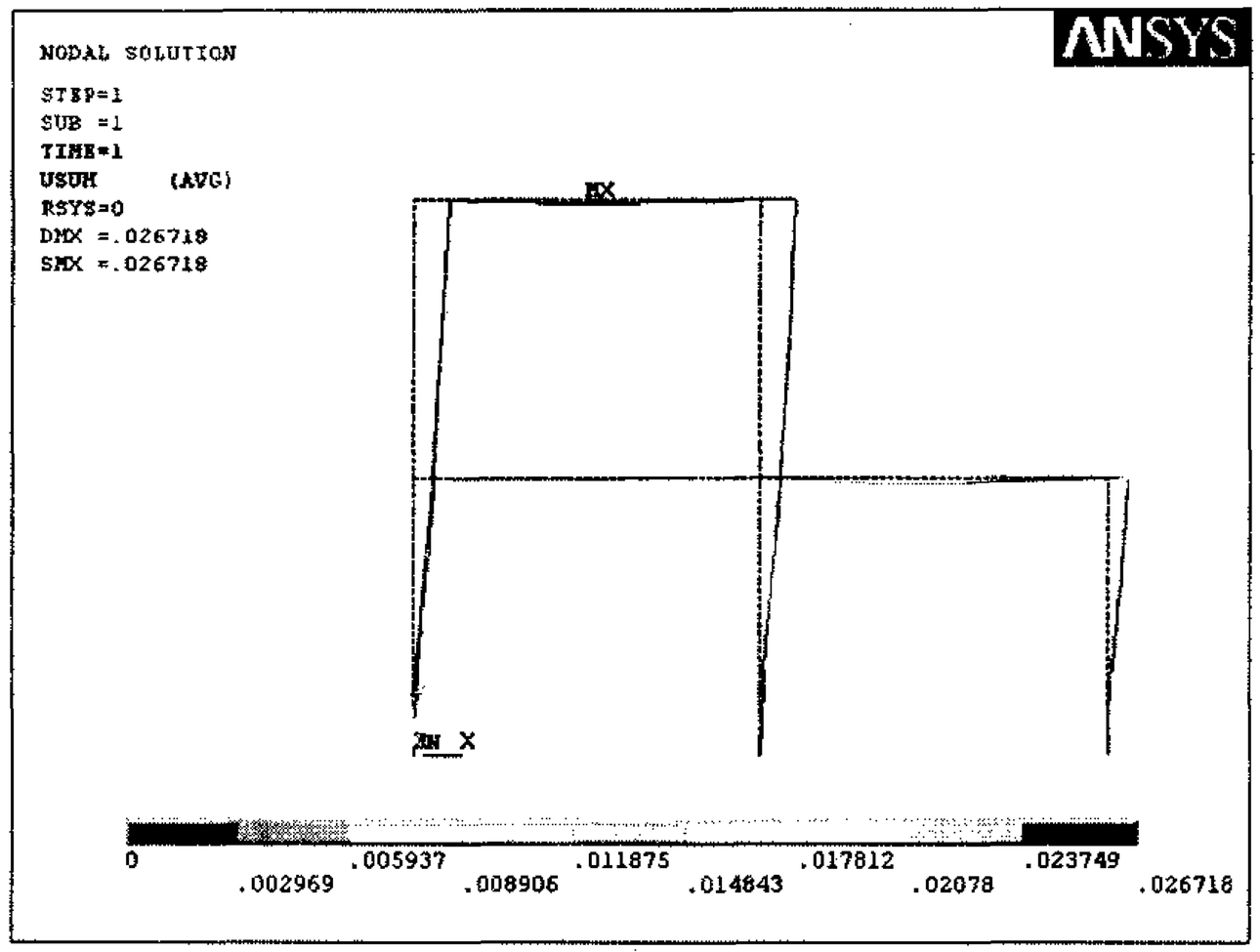


Hình 3.71. *Vị trí và mã các phần tử Beam*

- *Tạo file số liệu APDL trong Notepad*: Copy các lệnh trên vào môt file trong Notepad > Chọn đối tượng Copy > Start > Notepad > Untitled - Notepad > Phải chuột > Past > Save với tên file Vidu 3.5-Khung 2T2N trong thư mục Z.BT-ANSYS (3) có đường dẫn D\ > Z.BT-ANSYS (3) > Vidu 3.5-Khung 2T2N.txt.

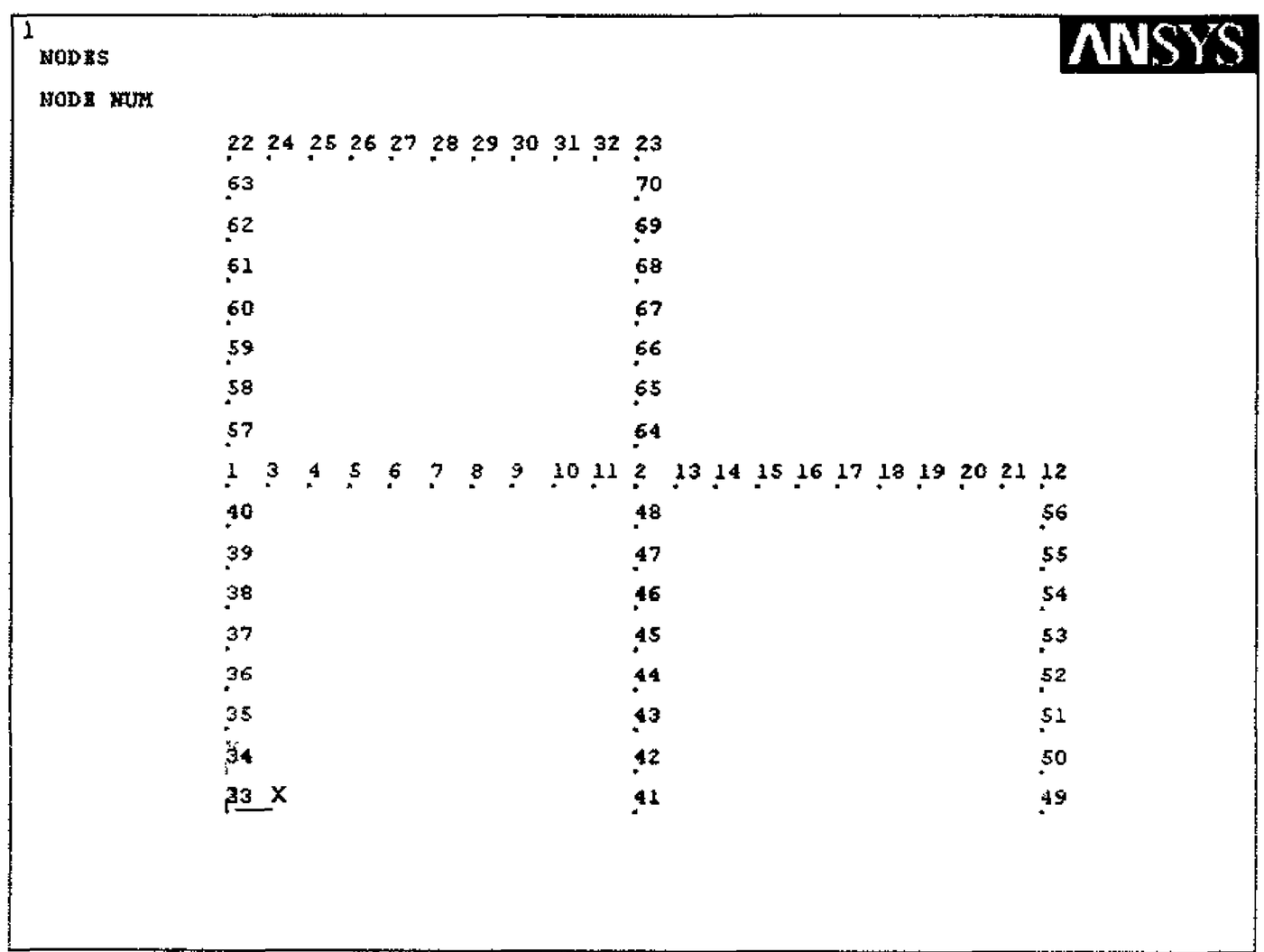
- *Chạy chương trình*: Khởi dộng ANSYS > Nhấn chuột vào biểu tương > Xuất hiện bảng New Analysis > Nhập tên bài toán Vidu 3.5-Khung 2T2N > OK > Nhấn chuột vào File > Nhấn Read Input from > Xuất hiện bảng Read File > Chọn File Vidu 3.5-Khung 2T2N.txt theo đường dẫn D\ > ZBT-ANSYS (3) > OK. Chương trình sẽ chạy khi xuất hiện thông báo việc giải đã hoàn thành > Close > Khai thác kết quả tính toán theo các lệnh đã trình bày trong các ví dụ ở trên.

- *Hiển thị biểu đồ biến dạng*: General Postproc > Plot Results > Contour Plot > DOFs > UX > OK > Ta có hình dạng biến dạng của khung như ở hình 3.72, cho biết chuyển vị toàn phần lớn nhất của khung DMX=0.026718m.



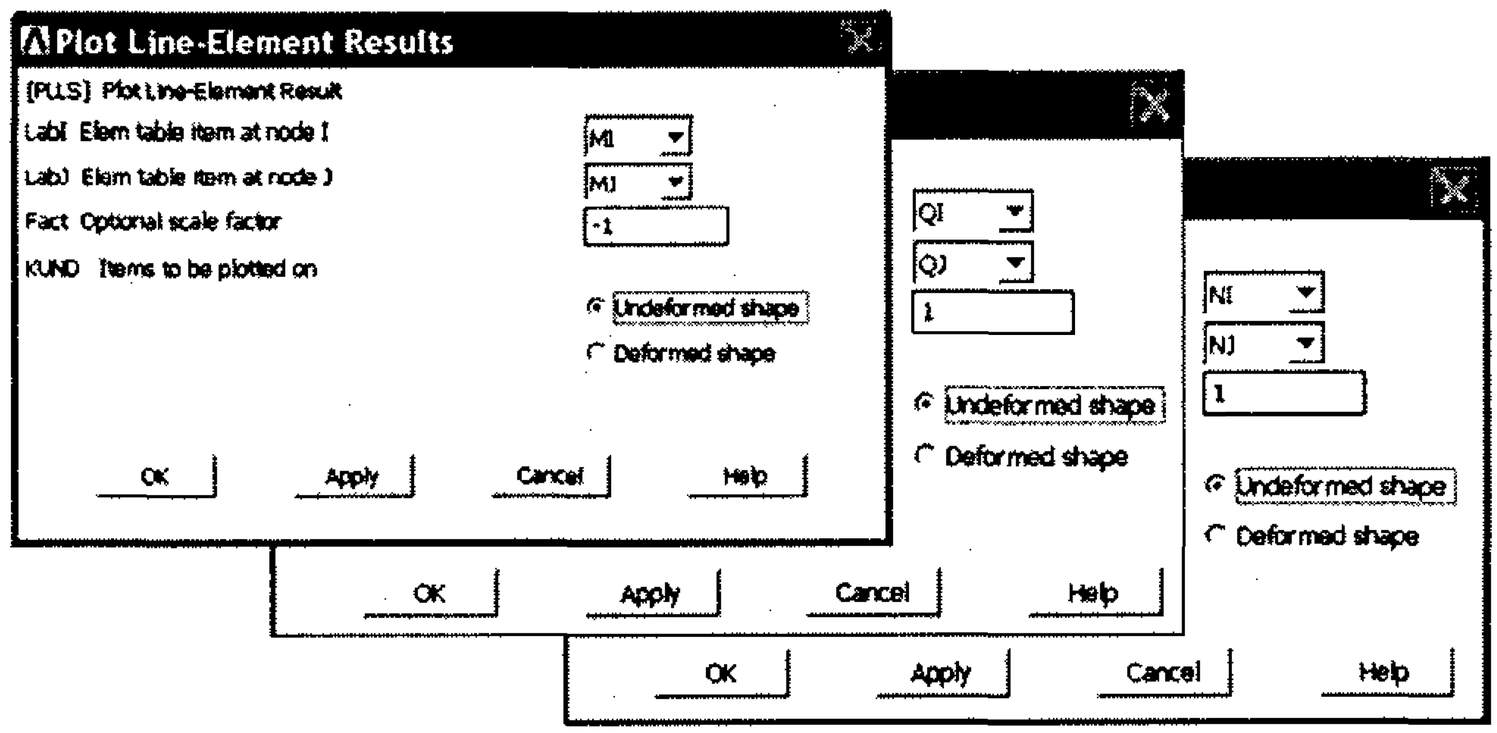
Hình 3.72. *Hình dạng biến dạng của khung*

Hiển thị các nút: Plot > Nodes > PlotCntrls > Numbering > Vị trí các điểm nút được thể hiện ở hình 3.73.

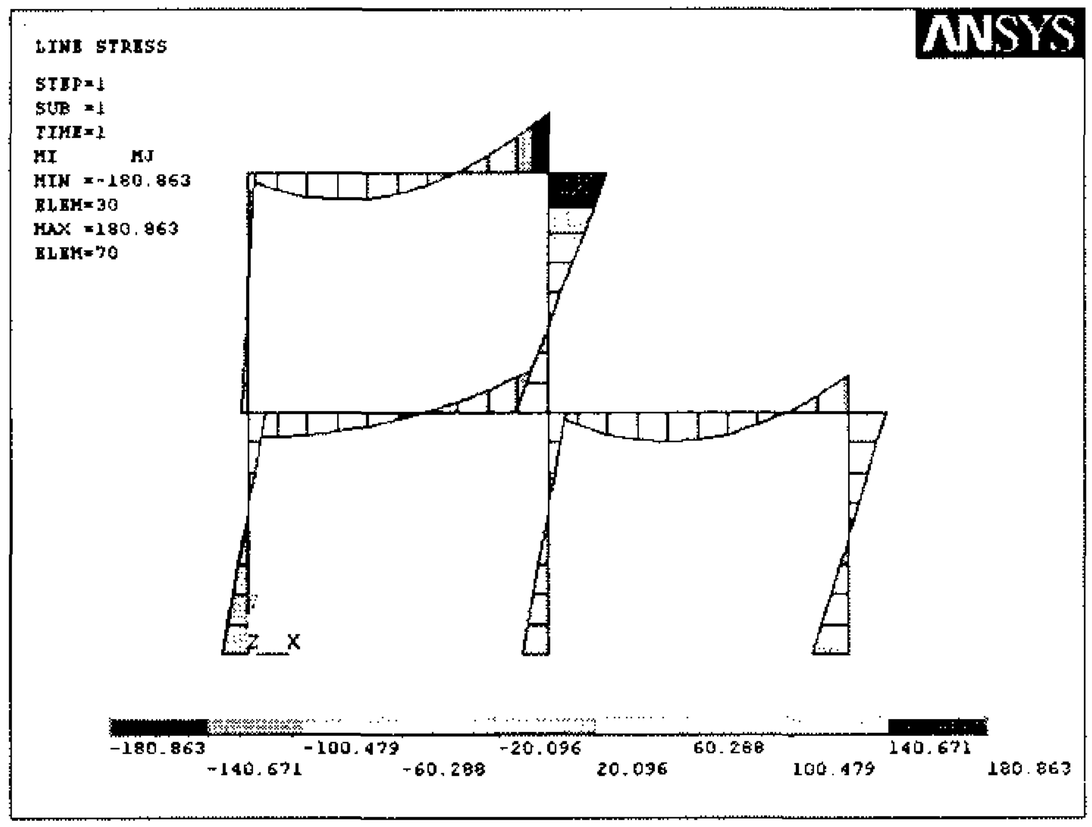


Hình 3.73. *Vị trí và mã các nút*

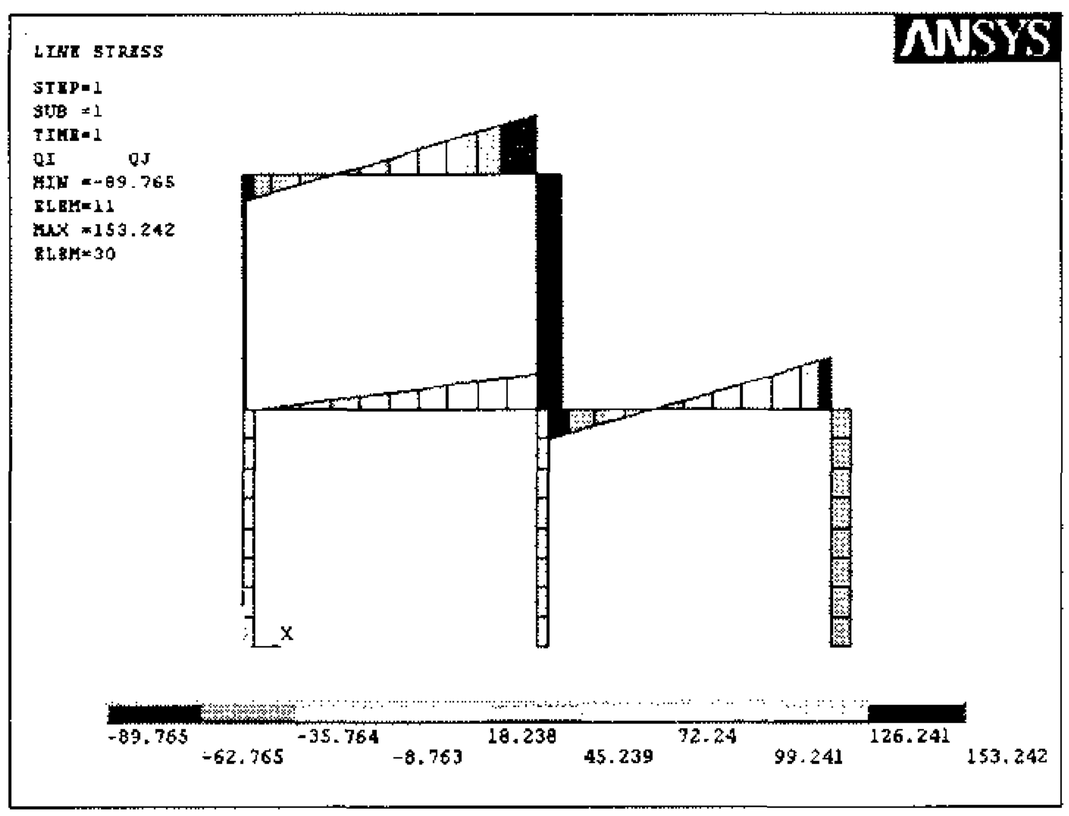
- *Hiển thị biểu đồ nội lực:* General Postprocessor > Plot Result > Contour Plot > Line Element Result > Plot Line-Element Results > Chọn mã mômen uốn, lực cắt và lực dọc ở hai nút I và J như ở hình 2.74 > OK > Biểu đồ mômen uốn, biểu đồ lực cắt lần lượt được thể hiện trên các hình 3.75 và 3.76.



Hình 3.74. Lệnh xuất biểu đồ mômen uốn, lực cắt và lực dọc



Hình 3.75. Biểu đồ mômen uốn



Hình 3.76. Biểu đồ lực cắt

- *Xuất giá trị chuyển vị của các điểm nut*: General Postproc > List Results > Nodal Solution > DOF > DOF Solution > Displacement Vector Sum > Xuất bảng PRNSOL Command cho giá trị 70 điểm nút, trong bảng 3.13 chỉ chọn in một số điểm nút.

Bảng 3.13. Chuyển vị tại một số điểm nút

PRNSOL Command

File

```
PRINT U    NODAL SOLUTION PER NODE

 ***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

 LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
  TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0

 THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL
COORDINATE SYSTEM

    NODE       UX           UY           UZ          USUM
       1  0.15438E-01-0.18338E-03  0.0000      0.15439E-01
       2  0.15396E-01-0.80416E-03  0.0000      0.15417E-01

      69  0.24556E-01-0.11234E-02  0.0000      0.24582E-01
      70  0.25656E-01-0.11766E-02  0.0000      0.25683E-01

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES
NODE          22          16           0          27
VALUE   0.26563E-01-0.43527E-02  0.0000      0.26718E-01
```

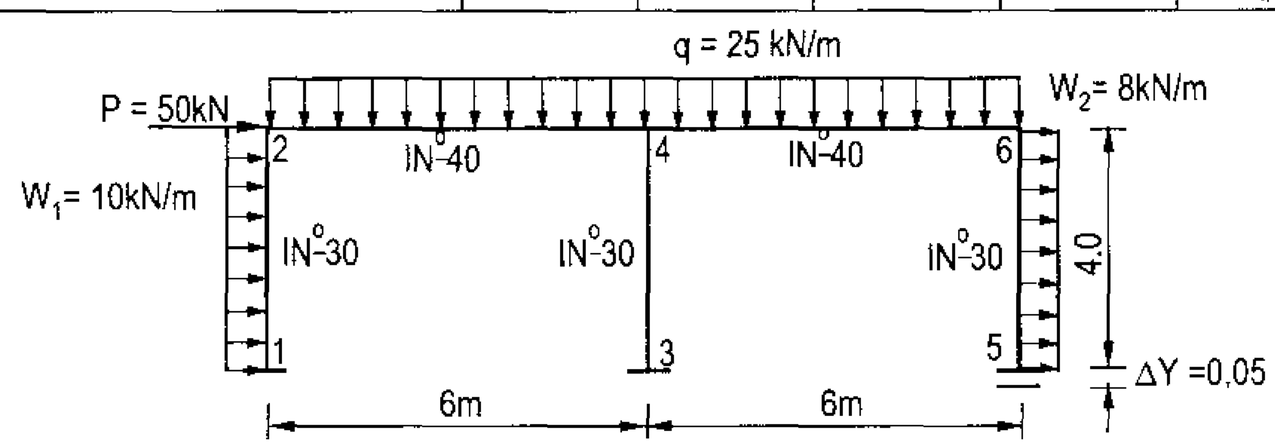
• Ví dụ 3.6. Khung một tầng hai nhịp

Xác định chuyển vị, nội lực và ứng suất của khung một tầng hai nhịp có sơ đồ tính toán cho ở hình 3.77. Tiết diện dầm và cột hình chữ I có đặc trưng hình học cho ở bảng 3.14. Gối tựa phải (điểm 6) bị lún $\Delta Y = -0.05$m.

Vật liệu thép có mô đun đàn hồi $E = 2.4\times10^8$kN/m^2, hệ số Poisson $\mu = 0.3$.

Bảng 3.14. Kích thước tiết diện dầm và cột

Kích thước tiết diện (mm)	H	B	T	t
Dầm IN°40	400	155	13	8
Cột IN°30	300	135	10.5	6.5



Hình 3.77. Sơ đồ tính toán

1. Giải theo phương thức GUI

- *Đặt tên bài toán*: Từ menu File > Change Title > Xuất hiện bảng Change Title Nhập: Vidu 3.6-Khung phang 1T2N > OK.

- *Chọn loại phần tử:* Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Xuất hiện Element Type > Add > Xuất hiện bảng Library of Element Types > Add > Chọn phần tử Beam ở cửa sổ trái > Chọn Tappered 44 > OK > Close.

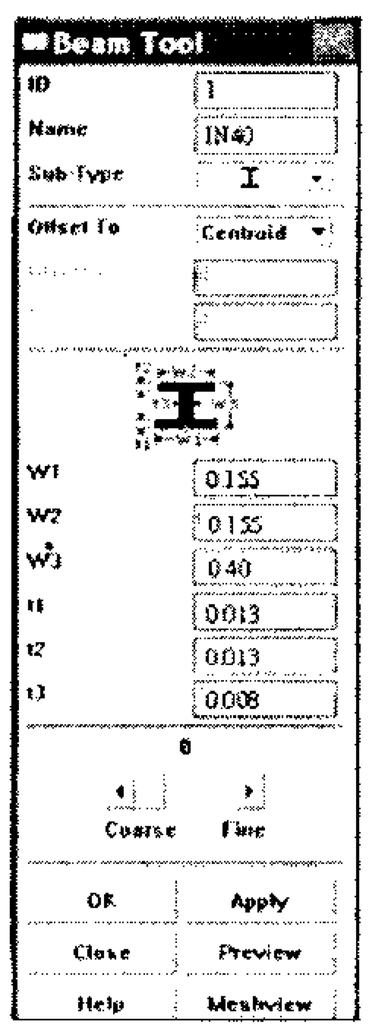
- *Chọn hệ đơn vị*: kN, m.

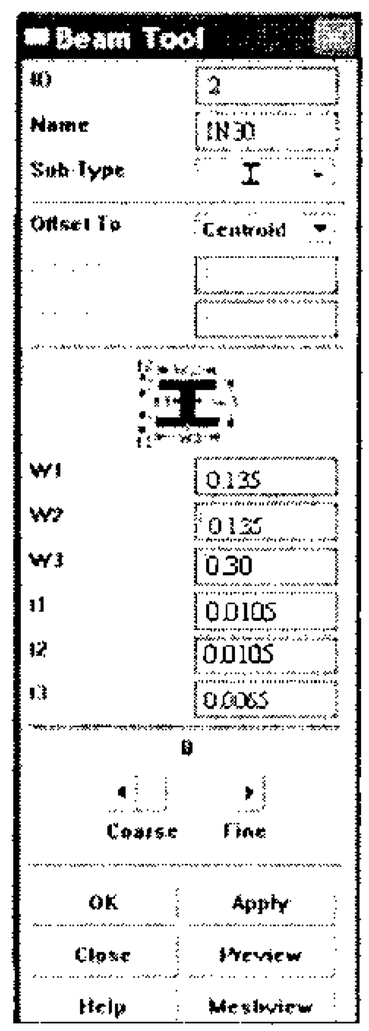
- *Định nghĩa thuộc tính của vật liệu:* Preprocessor > Material Props > Material Model > Xuất hiện bảng Define Material Model Behavior > Nhấn nút Structural > Linear > Elastic > Isotropic. Xuất hiện bảng Linear Isotropic Properties for Material > Nhập mô đun đàn hồi EX=2.1×10^8kN/m^2 và hệ số Poisson PRXY=0.3 > Nhấn Material > Exit.

- *Định nghĩa đặc trưng hình học của tiết diện dầm và cột* :Preprocessor > Beam > Common Sections > Xuất hiện bảng Real Constant Set Number 1, for BEAM44 như ở hình 3.78 và nhập các số liệu sau:

ID:1: IN40, W1=W2=0.155, W3=0.40, t1=t2=0.013, t3=0.008

ID:2: IN30, W1=W2=0.135, W3=0.30, t1=t2=0.0105, t2=0.0065





Hình 3.78. *Đặc trưng hình học của tiết diện dầm và cột*

- *Tạo 3 điểm*: Từ menu Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS > Xuất hiện bảng Create Keypoints in Active Coordinate System:

Nhập điểm 1 với tọa độ X=0, Y=0, Z=0 > Apply

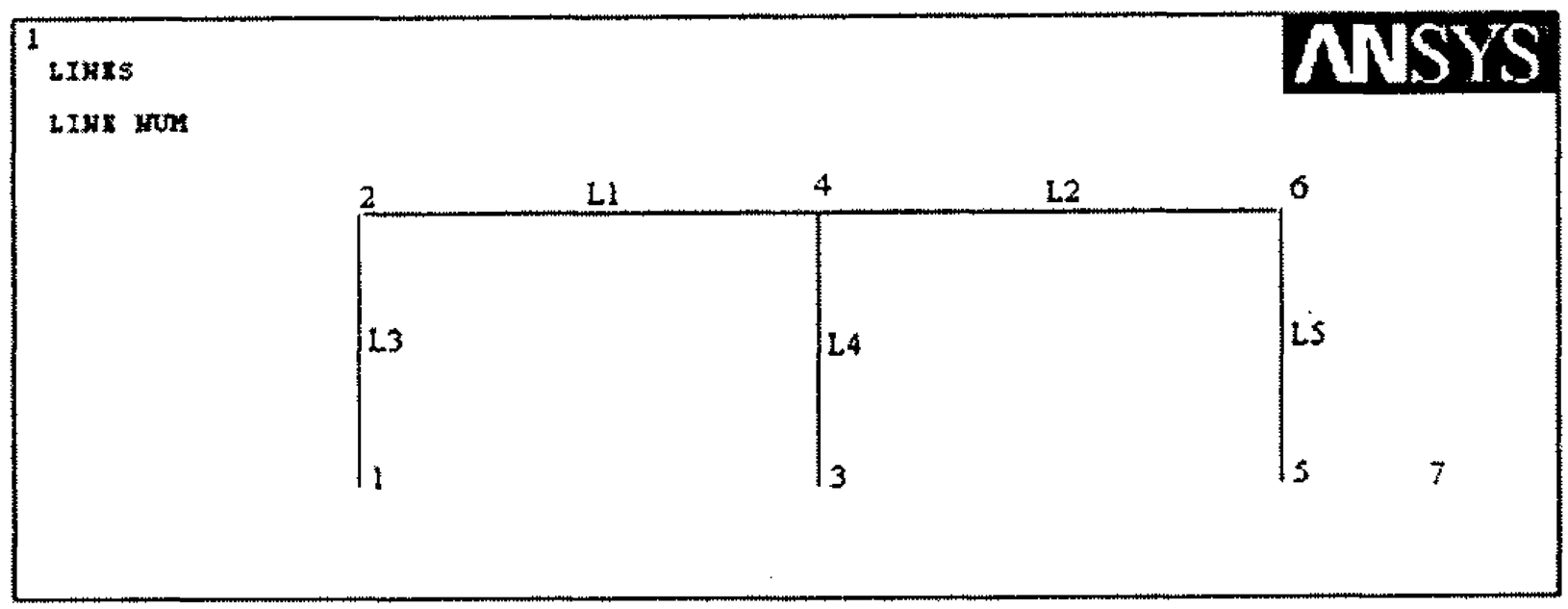
Nhập điểm 2 với tọa độ X=0, Y=4, Z=0 > Apply

Nhập điểm 7 với tọa độ X=14, Y=0, Z=0 > OK

(chọn điểm 7 là điểm định hướng của cột bên phải).

- *Copy điểm 1 và 2 tạo thêm 4 điểm 3, 4, 5 và 6*: Preprocessor > Modeling > Copy > Keypoints > Xuất hiện bảng Copy Keypoints > Nhấn chuột vào nút 1 và 2 > OK > Xuất hiện bảng Copy Keypoints > Nhập ITIME=3 và DX=6 > OK, ta có thêm 4 điểm 3, 4, 5 và 6.

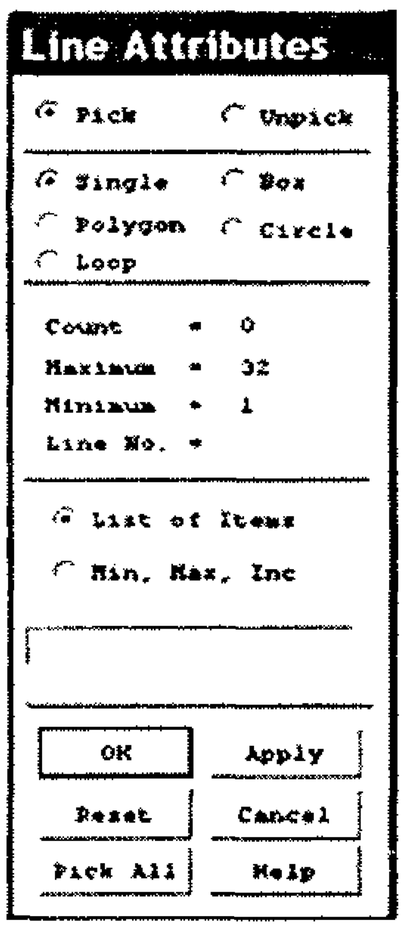
- *Vẽ các thanh của khung*: Từ Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Straight Line > Nhấn chuột lần lượt vào nút 2-4, 4-6, 1-2, 3-4 và 5-6, ta có kết cấu khung 1 tầng 2 nhịp như ở hình 3.79.



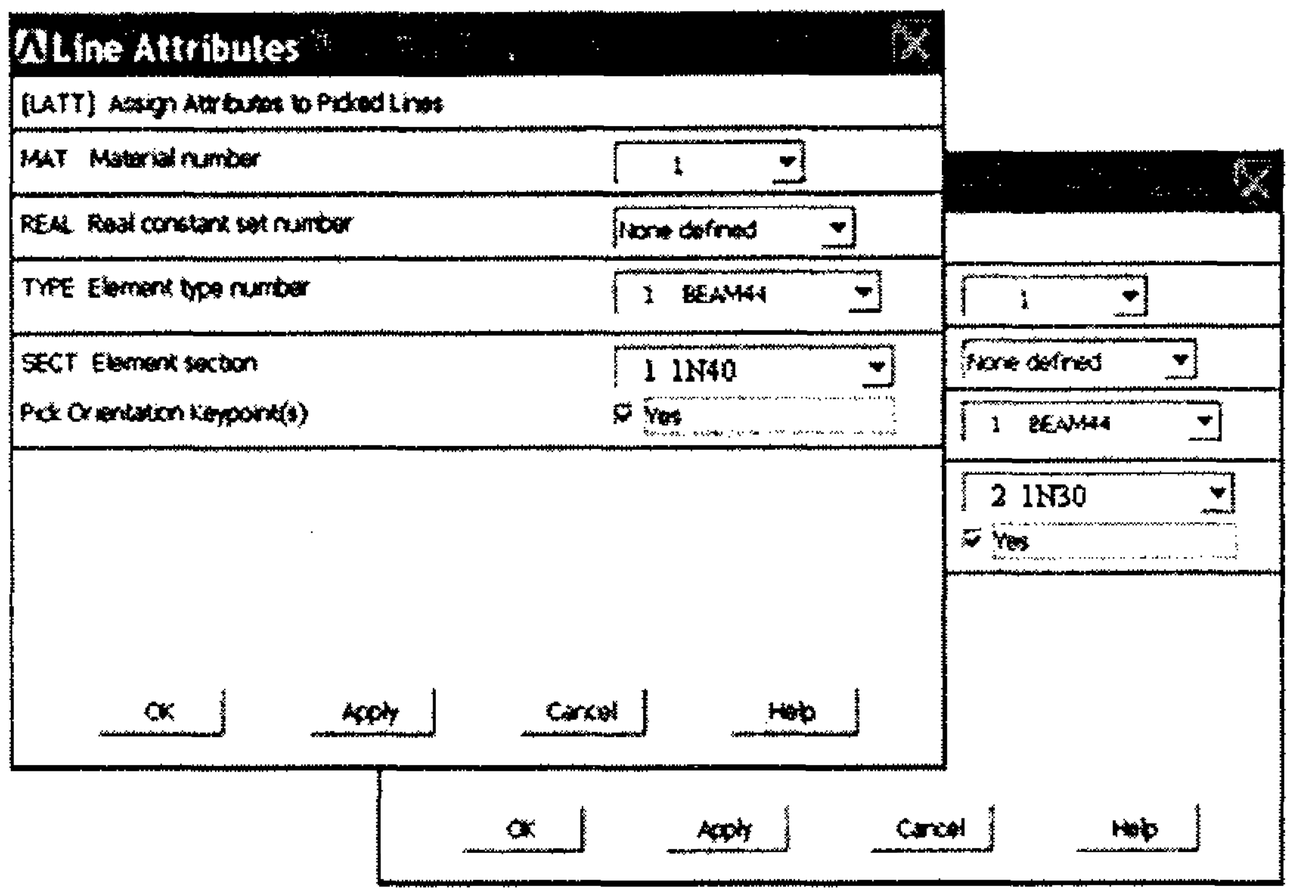
Hình 3.79. *Mã điểm và mã đường của khung*

- *Chọn kích thước lưới*: Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > Manual Size > Lines > All Lines > Xuất hiện bảng Element Sizes on All Selected Lines > Nhập số lượng đoạn chia cho một phân tố dầm và cột NDIV = 10 > OK.

- *Gán thuộc tính cho các thanh:* Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > Picked Lines > Xuất hiện bảng Line Attributes như ở hình 3.80 > Nhấn chuột vào các dầm L1, L2 > Apply > Xuất hiện bảng Line Attributes như ở hình 3.81 > Chọn: MAT=1, TYPE=1 BEAM44, SECT=1 IN40, Pick Orientation Keypoint ☑ YES > Apply > Nhấn điểm 3 > Apply > Nhấn chuột vào cột L3, L4 > Apply > Chọn: MAT=1, TYPE=1 BEAM44, SECT=2 IN30, Pick Orientation Keypoint ☑ YES >Apply > Nhấn điểm 5 > Apply > Nhấn chuột vào cột L5 > Apply > Chọn: MAT=1, TYPE=1 BEAM44, SECT=2 IN30, Pick Orientation Keypoint ☑ YES > OK > Nhấn điểm 7 > OK.



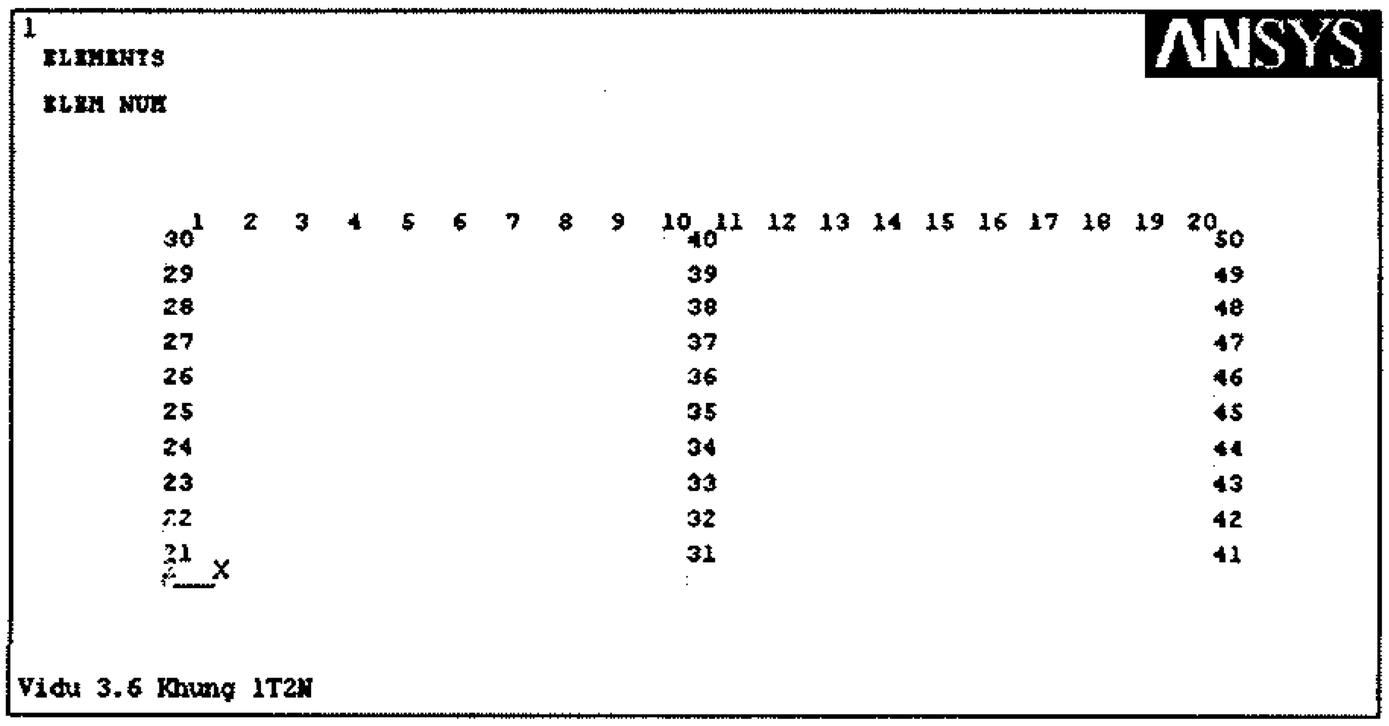
Hình 3.80



Hình 3.81. *Gán thuộc tính cho dầm và cột*

- *Chia lưới phần tử*: Preprocessor > Meshing > Mesh > Lines > Pick All.

- *Hiển thị mã phần tử*: Plot > Elements > PlotContrls > Numbering > Xuất hiện bảng Element Numbers ở Elem/Attrib Number > Chọn Number only ở [/NUM] > OK, ta có mã các phần tử dầm và cột như ở hình 3.82.



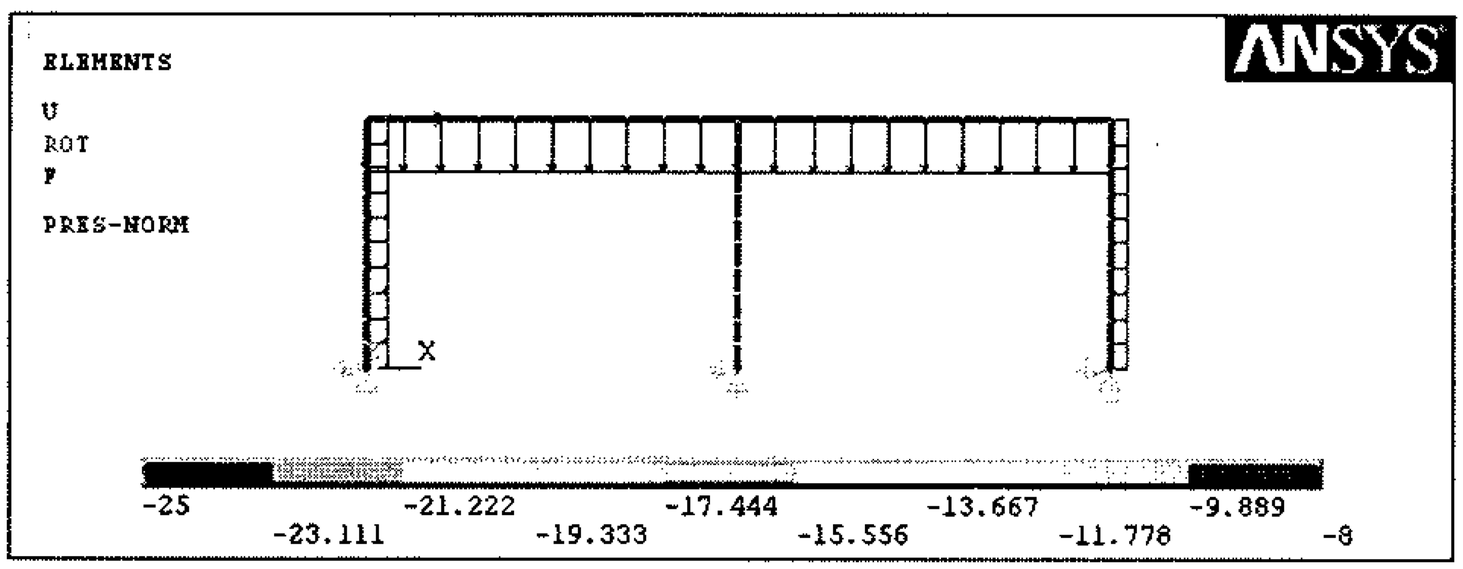
Hình 3.82. *Mã các phần tử Beam ở dầm và cột*

- *Định nghĩa kiểu phân tích:* Solution > Analysis Type > New Analysis > Xuất hiện bản New Analysis > Chọn ⊙ Static > OK.

- *Gán liên kết:* Solution > Define Loads > Apply > Displacement > On Keypoints > Chọn điểm 1, 3 và 5 > OK > Xuất hiện bảng Apply U, ROT on KPs > Chọn All DOF > Nhập giá trị chuyển vị VALUE = 0 > OK.

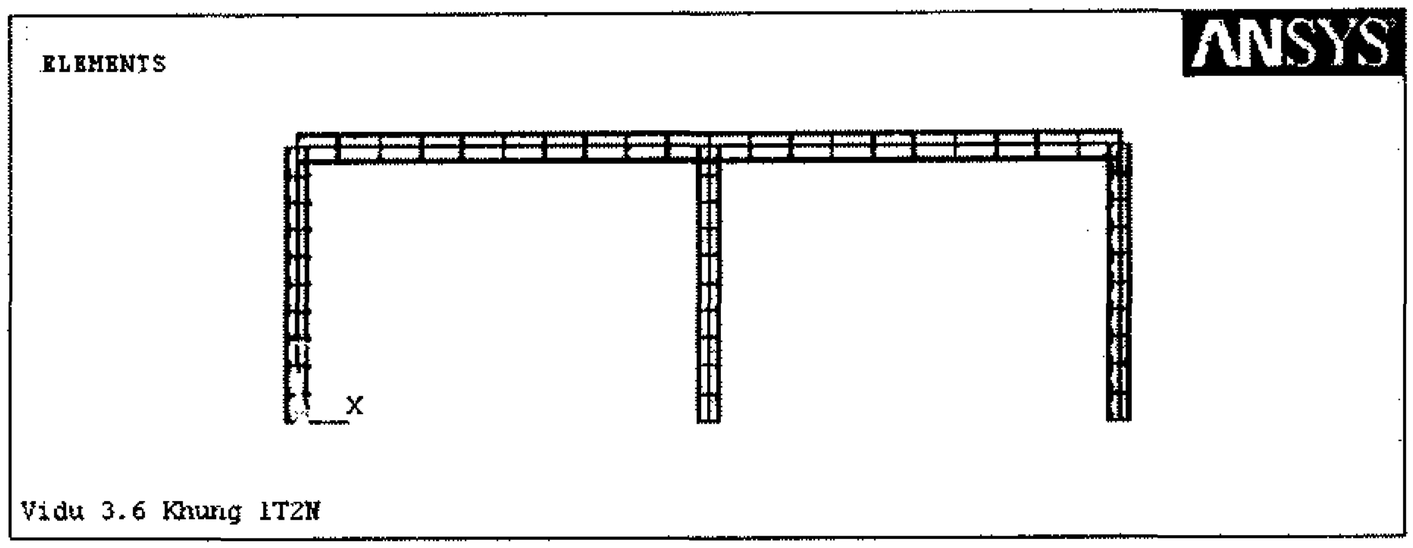
- *Gán tải trọng tập trung*: Solution > Define Load > Apply > Structural > Force /Moment > Chọn điểm 2 > Apply > Apply F/M on KPs > Chọn FX, nhập VALUE=50 > OK.

- *Gán tải trọng phân bố đều*: Solution > Define Load > Apply > Structural > Pressure > Nhấn chuột vào các phần tử thuộc đường L1, L2, từ phần tử 1 đến 20 (xem hình 3.82) > Apply > Pressure on Beams > Nhập VALUE = -25 > Apply > Nhấn chuột vào các phần tử thuộc đường L3, từ phần tử 21 đến 30 > Apply > Pressure on Beams > Nhập VALUE = -10 > Apply > Nhấn chuột vào các phần tử thuộc đường L5, từ phần tử 41 đến 50 > OK > Pressure on Beams > Nhập VALUE = -8 > OK, ta có sơ đồ tải trọng như ở hình 3.83.



Hình 3.83. *Sơ đồ tải trọng*

- *Hiển thị kết cấu khung*: Plot > Elements > PlotCtrls > Style > Size and Shape > Chọn Display of Element ☑ On > OK > OK, ta có kết cấu khung như ở hình 3.84.

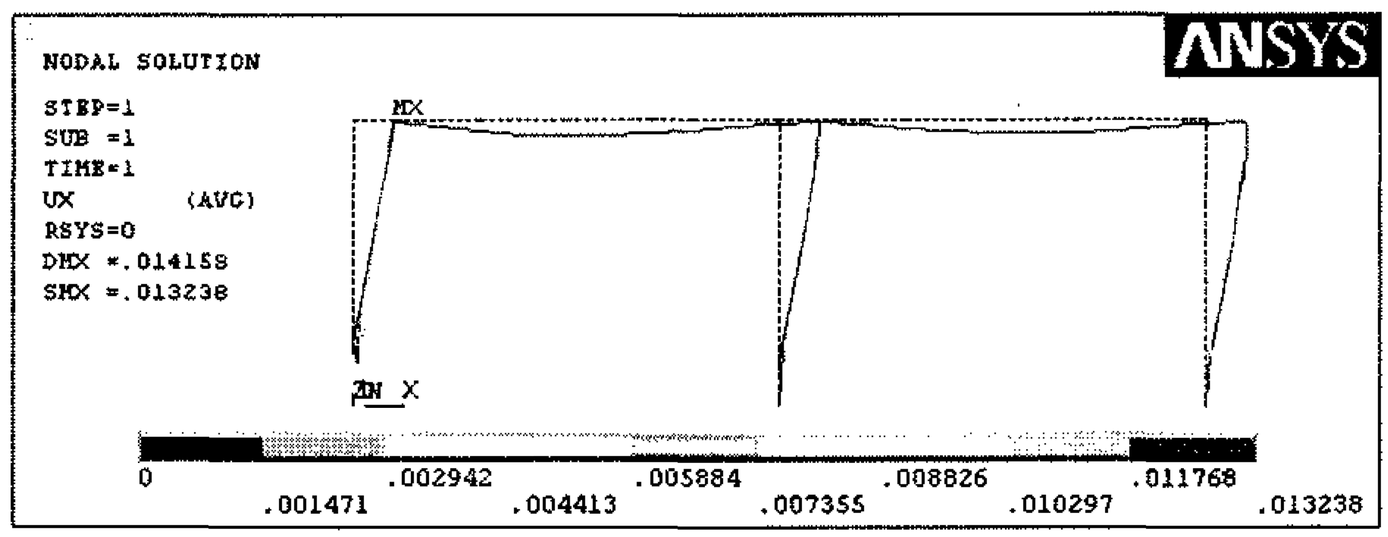


Hình 3.84. *Kết cấu khung đã gán đặc trưng hình học cho dầm và cột*

- *Chạy chương trình*: Solution > Solve > Currunt LS > khi có thông báo Solution is done > Chương trình tính đã hoàn thành > Close.

Chuyển vị của khung

- *Hiển thị biểu đồ biến dạng của khung:* General Postproc > Plot Results > Contour Plot > DOFs > UX > OK > Ta có hình dạng biến dạng của khung cho ở hình 3.85, chuyển vị SMX=0.013238m và chuyển vị DMX=0.014158m.



Hình 3.85. *Hình dạng biến dạng của khung*

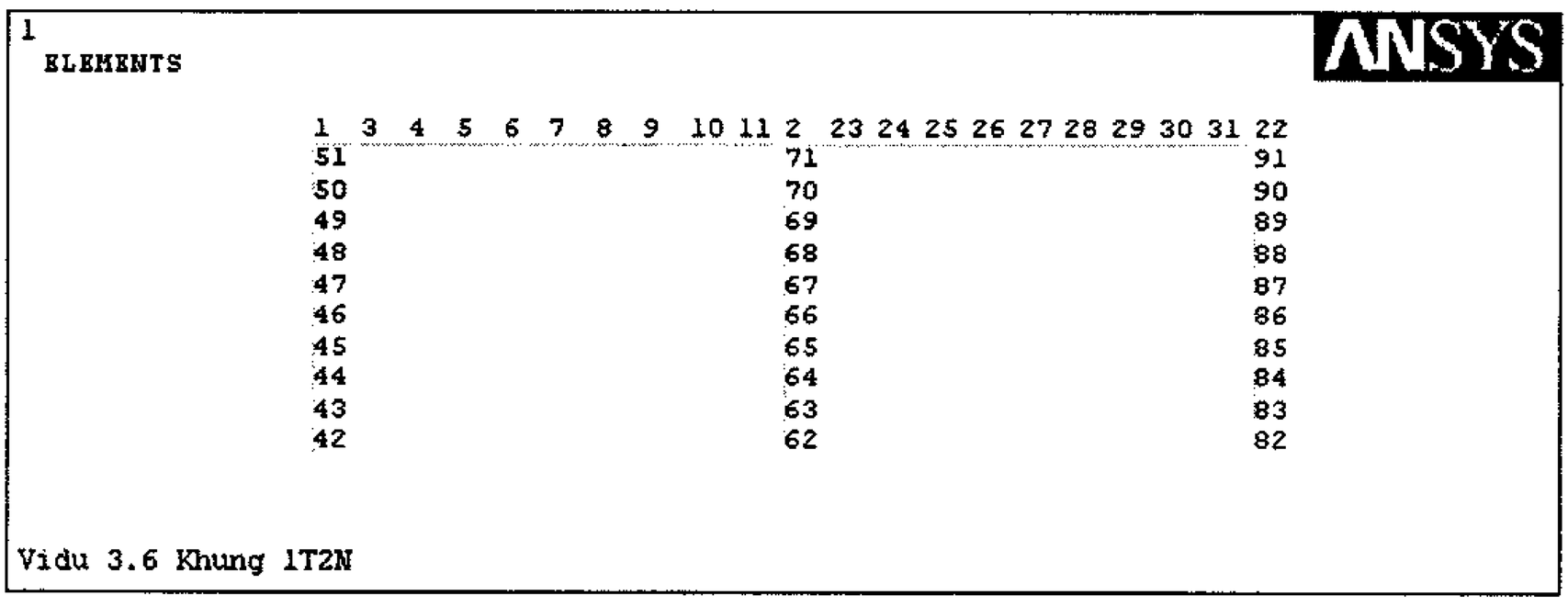
- *Xuất giá trị chuyển vị của các nút*: General Postproc > List Results > Nodal Solution > DOF Solution > Displacement Vector SUM > PRNSOL Command cho giá trị 50 điểm nút, trong bảng 3.15 chỉ chọn in chuyển vị ở một số điểm nút, vị trí các điểm nút được thể hiện ở hình 3.86. Chuyển vị ngang lớn nhất tại nút 1 có UX=0.013238m, chuyển vị toàn phần lớn nhất tại nút 6 có USUM=0.014158m.

- *Hiển thị sơ đồ mã nút của các phần tử của khung:* Utility Menu > PlotCtrls > Numbering > Chọn NODE Node Numbers ☑ On > [/NUM] Numbering Shown with > Chọn Numbers only > OK, có sơ đồ vị trí và mã nút các phần tử Beam của khung như ở hình 3.86.

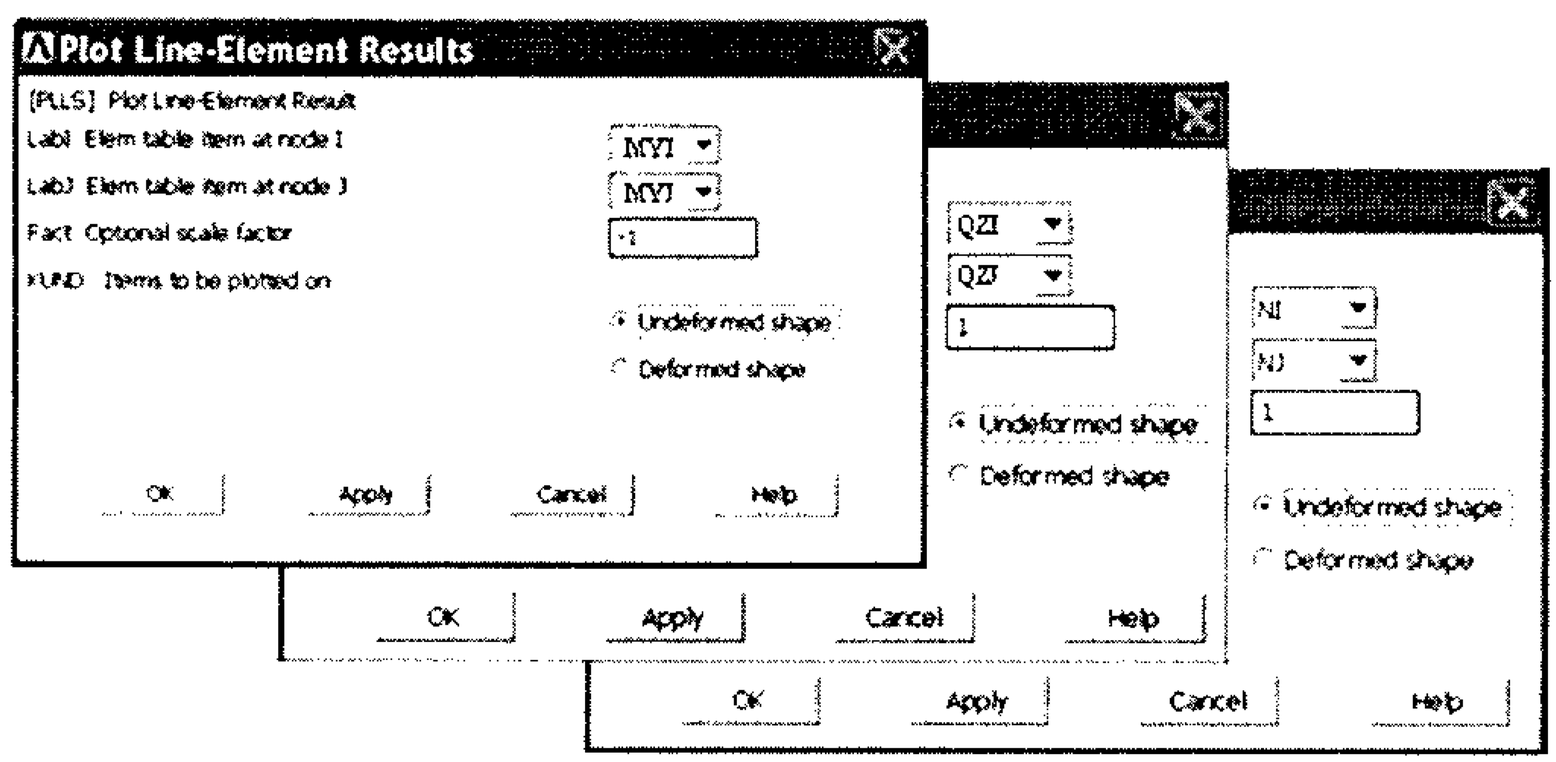
- *Hiển thị biểu đồ nội lực:* General Postprocessor > Plot Result > Contour Plot > Line Element Result > Plot Line- Element Results > Chọn mã mômen uốn, lực cắt và lực dọc ở hai nút I và J như ở hình 3.87 > OK > Biểu đồ mômen uốn, biểu đồ lực cắt và lực dọc lần lượt được thể hiện trên các hình 3.88, 3.89 và 3.90.

Bảng 3.15. Giá trị chuyển vị tại một số nút

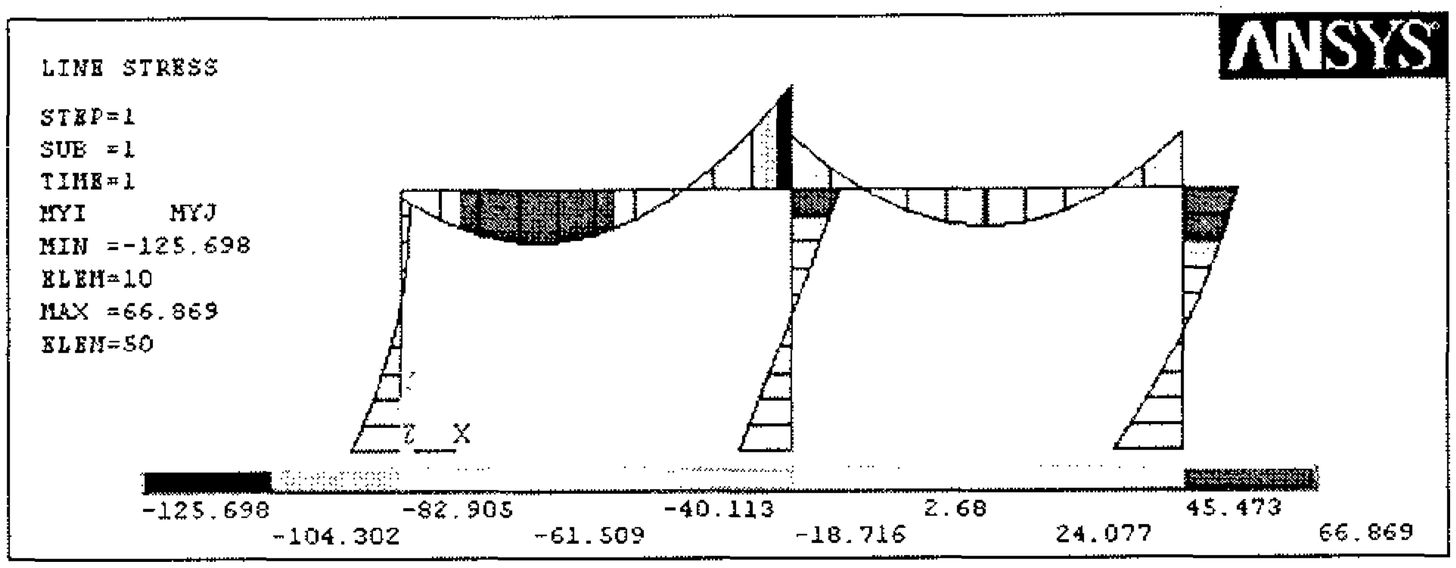
```
PRNSOL  Command
File

 PRINT U    NODAL SOLUTION PER NODE

  ***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

  LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
   TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0

  THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL
COORDINATE SYSTEM

    NODE      UX          UY          UZ          USUM
       1  0.13238E-01-0.21467E-03-0.16403E-11 0.13240E-01
       2  0.13026E-01-0.70681E-03-0.12277E-11 0.13045E-01
       3  0.13217E-01-0.21702E-02-0.15675E-11 0.13394E-01
       4  0.13196E-01-0.37559E-02-0.15135E-11 0.13720E-01
       5  0.13175E-01-0.48062E-02-0.14739E-11 0.14024E-01
       6  0.13153E-01-0.52387E-02-0.14442E-11 0.14158E-01

 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES
 NODE          1          6          1          6
 VALUE   0.13238E-01-0.52387E-02-0.16403E-11 0.14158E-01
```



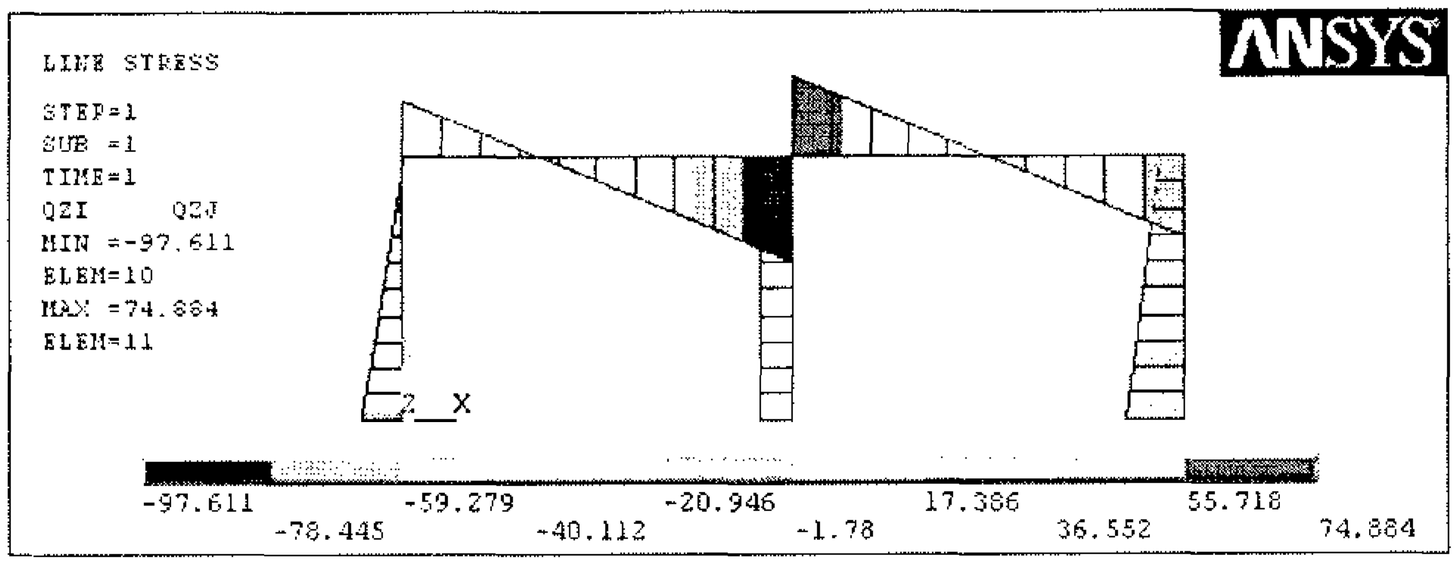
Hình 3.86. Vị trí và mã các nút (Nodes)



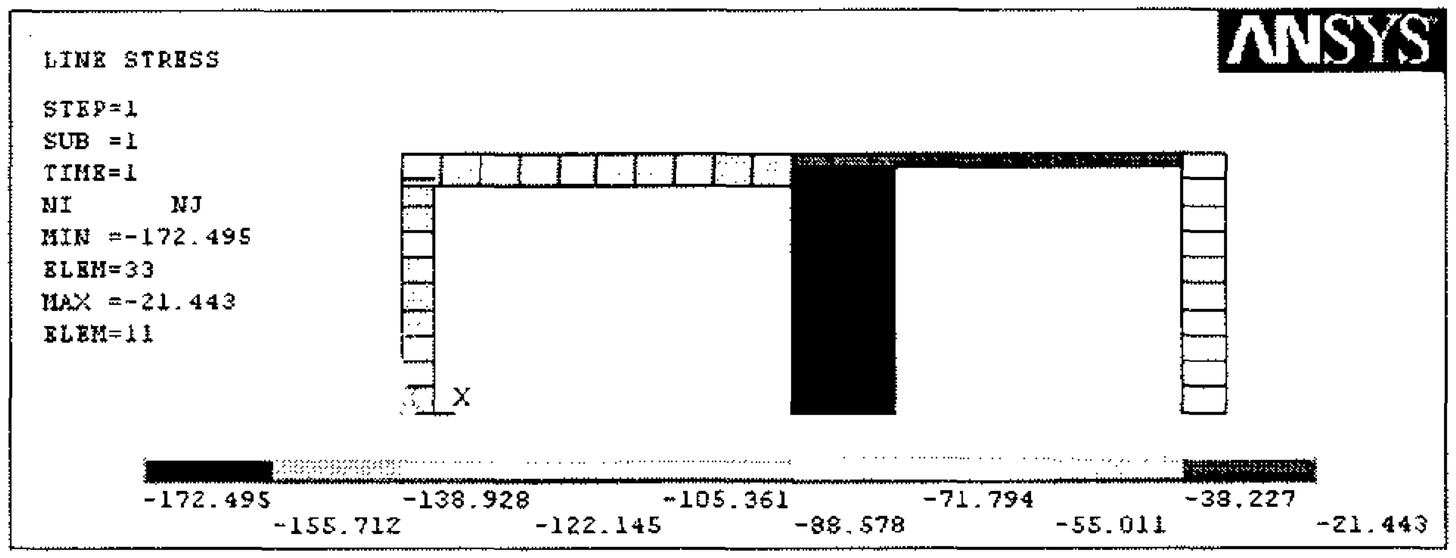
Hình 3.87. Lệnh xuất biểu đồ mômen uốn, lực cắt và lực dọc



Hình 3.88. Biểu đồ mômen uốn



Hình 3.89. Biểu đồ lực cắt



Hình 3.90. Biểu đồ lực dọc

Từ các hình 3.88 và 3.89 cho biết mômen uốn MY nhỏ nhất MIN = -125.698kNm và lớn nhất MAX = 66.869kNm, lực cắt QZ nhỏ nhất MIN = -97.611kN và lớn nhất MAX = 74.884kN, lực dọc N nhỏ nhất MIN = -172.495kN và lớn nhất MAX = 21.443 kN.

2. Giải theo phương thức APDL

Trường hợp 1: Gối tựa 5 chân cột L5 chưa bị lún DK,5,ALL hoặc DK,5, UX,0, , , UZ,ROTX,ROTY,ROTZ và DK,5,UY,0.

Copy các lệnh dưới đây được soạn thảo trong Word vào phần mềm Notepad có tên file là Vidu 3.6-Khung 1T2N.txt được lưu trong ổ D\ Thư mục Z.BT-ANSYS (3) với đường dẫn D\ > Z BT-ANSYS (3) > Vidu 3.6-Khung 1T2N.txt.

```
/TITLE, Vi du 3.6 - Khung phang 1T2N
/PREP7
ET,1,BEAM44
SECTYPE,1,BEAM,I,IN40,0
SECOFFSET,CENT
SECDATA,0.155,0.155,0.4,0.013,0.013,0.008
SECTYPE,2,BEAM,I,IN30,0
SECOFFSET,CENT
SECDATA,0.135,0.135,0.3,0.0105,0.0105,0.0065
MP,EX,1,2.1E+8
MP,PRXY,1,0.3
K,1,0,0,0
K,2,0,4,0
KGEN,3,1,2,1,6
K,7,14,0,0
LSTR,2,4
LSTR,4,6
LSTR,1,2
LSTR,3,4
LSTR,5,6
LSEL,S,,,1
LATT,1,,1,,3,,1 ! 1-MAT; 1-ET; 3-Orien.Kp; 1-SECT
LSEL,S,,,2
LATT,1,,1,,3,,1
LSEL,S,,,3
LATT,1,,1,,3,,2
LSEL,S,,,4
LATT,1,,1,,5,,2
LSEL,S,,,5
LATT,1,,1,,7,,2
LSEL,ALL
LESIZE,ALL,,,10,,,,,,1
LMESH,ALL
/ESHAPE,1 ! Hien thi khung
EPLOT
ANTYPE,0
DK,1,ALL
DK,3,ALL
DK,5,UX,0,,,UZ,ROTX,ROTY,ROTZ
```

```
DK,5,UY,0 ! Truong hop 2 thay bang DK,5,UY,-0.05
FK,2,FX,50
FK,3,FX,100
SFBEAM,1:20,1,PRES,-25
SFBEAM,21:30,1,PRES,-10
SFBEAM,41:50,1,PRES,-8
/SOLU
SOLVE
/POST1
ETABLE,MYI,SMISC,5
ETABLE,MYJ,SMISC,11
ETABLE,QZI,SMISC,3
ETABLE,QZJ,SMISC,9
ETABLE,NI,SMISC,1
ETABLE,NJ,SMISC,7
FINISH
```

Sau đó mở phần mềm ANSYS > Nhấn chuột > New Analysis > Nhập Vidu 3.6-Khung 1T2N ở Analysis Jobname > OK > Nhấn File > Read Input from > Read File > Vào D\Chọn Z.BT-ANSYS (3) > Chọn file Vidu 3.6-Khung 1T2N.txt > OK. Sau khi nhấn OK chương trình sẽ chạy, khi có thông báo Solution is done > Nhấn Close và khai thác kết quã tính toán.

Bảng 3.16. Giá trị nội lực của các phần tử

PRETAB Command

File

PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT

***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING *****

STAT ELEM	CURRENT MI	CURRENT MJ	CURRENT QI	CURRENT QJ	CURRENT NI	CURRENT NJ
1	9.9673	36.901	52.389	37.389	-52.315	-52.315
2	36.901	54.834	37.389	22.389	-52.315	-52.315
3	54.834	63.768	22.389	7.3891	-52.315	-52.315
4	63.768	63.701	7.3891	-7.6109	-52.315	-52.315
5	63.701	54.634	-7.6109	-22.611	-52.315	-52.315
6	54.634	36.568	-22.611	-37.611	-52.315	-52.315
7	36.568	9.5014	-37.611	-52.611	-52.315	-52.315
8	9.5014	-26.565	-52.611	-67.611	-52.315	-52.315
9	-26.565	-71.632	-67.611	-82.611	-52.315	-52.315
10	-71.632	-125.70	-82.611	-97.611	-52.315	-52.315
11	-66.176	-25.746	74.884	59.884	-21.443	-21.443
49	47.155	57.652	27.843	24.643	-75.116	-75.116
50	57.652	66.869	24.643	21.443	-75.116	-75.116
MINIMUM VALUES						
ELEM	41	10	10	10	33	33
VALUE	-82.904	-125.70	-82.611	-97.611	-172.50	-172.50
MAXIMUM VALUES						
ELEM	4	50	11	11	11	11
VALUE	63.768	66.869	74.884	59.884	-21.443	-21.443

- *Xuất giá trị nội lực*: General Postproc > List Result > Element Table Data > List Result Table Data > Chọn Items 1-10 GRP1 > OK, có bảng 3.16 cho giá trị nội lực của các phần tử.

Từ bảng 3.16 cho biết mômen uốn M nhỏ nhất MIN=-125.70kNm và lớn nhất MAX=66.869kNm. Lực cắt Q nhỏ nhất MIN=-97.611kN và lớn nhất MAX=74.884 kN. Lực dọc N nhỏ nhất MIN=-172.50kN và lớn nhất MAX=-21.443kN hoàn toàn trùng khớp với kết quả tính theo phương thức GUI.

Trường hợp 2: Gối tựa phải ở chân cột L5 bị lún ta thay điều kiện liên kết DK,UY,0 ở trường hợp 1 bằng DK,5,UY, -0.05, ta có kết quả tính toán chuyển vị, mômen uốn và lực cắt cho ở các hình 3.91, 3.92, 3.93 và 3.94.

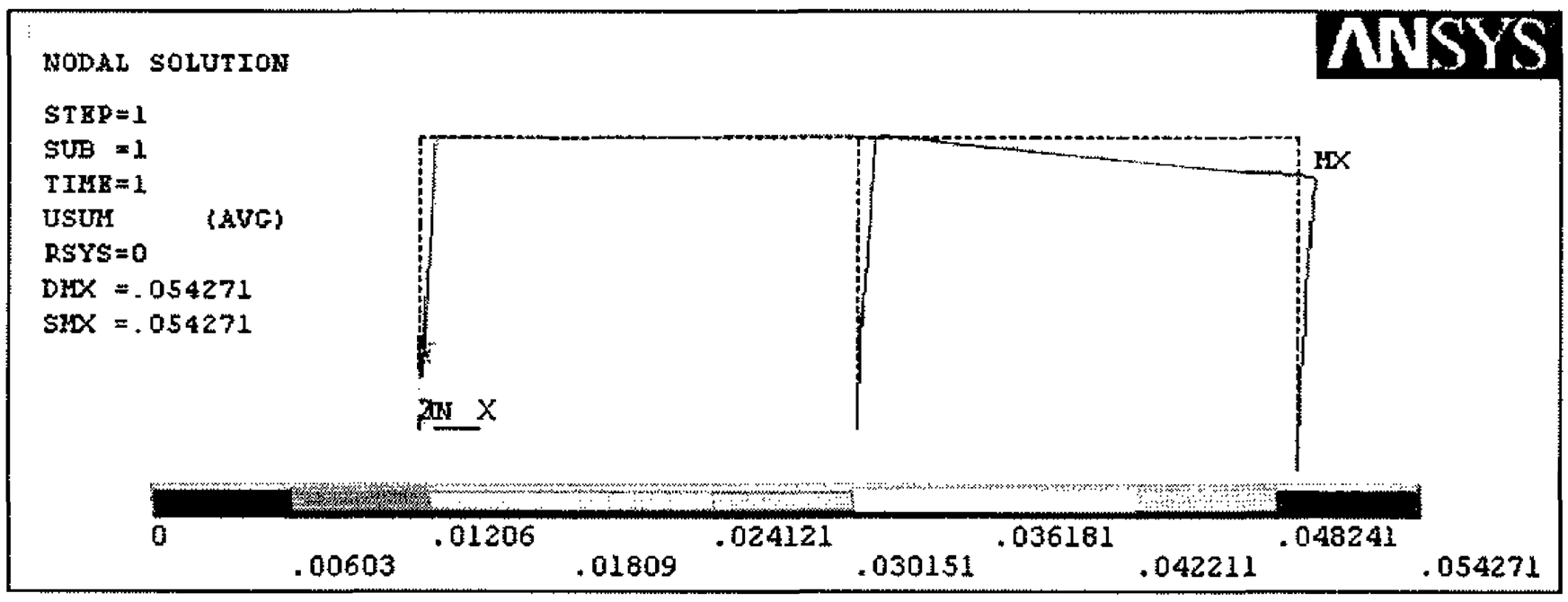
Kết quả tính toán:

Chuyển vị lớn nhất USUM: DMX = 0.054271m

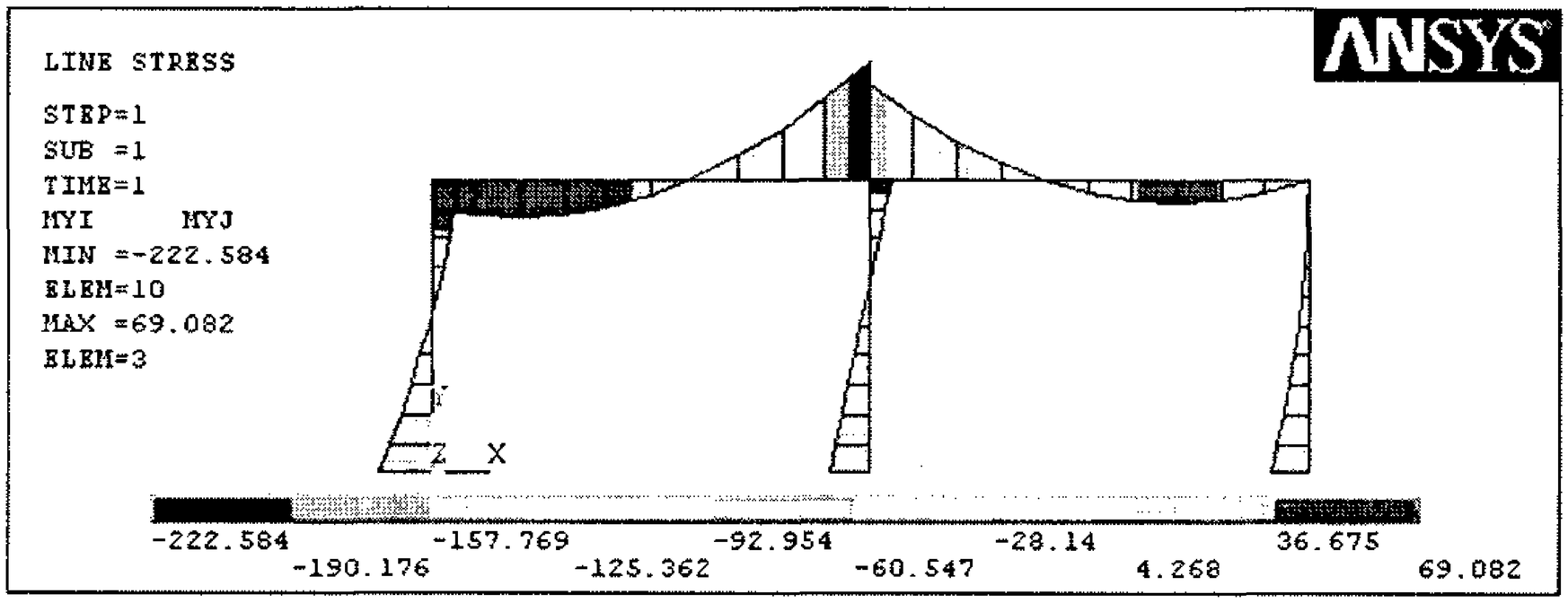
Mômen uốn MY: MIN = -222.584; MAX = 69.082kNm

Lực cắt QZ: MIN = -120.764kN; MAX = 105.18kN

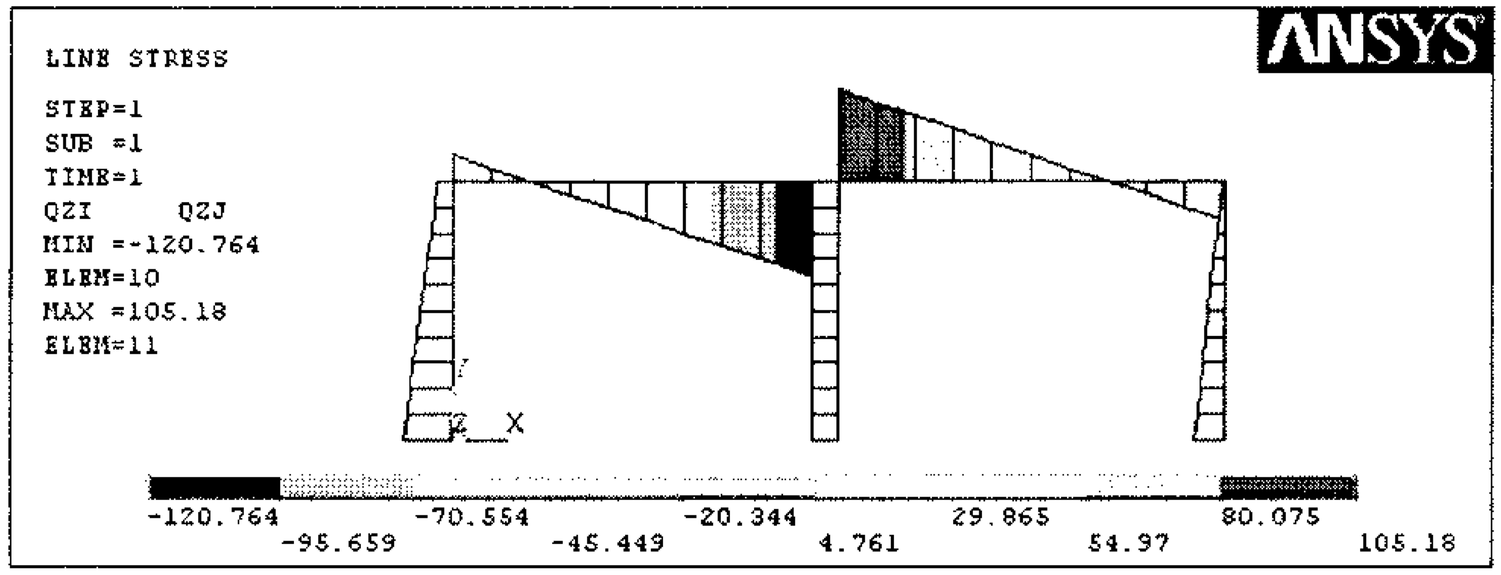
Lực dọc N: MIN=-25.944kN; MAX=-1.872kN



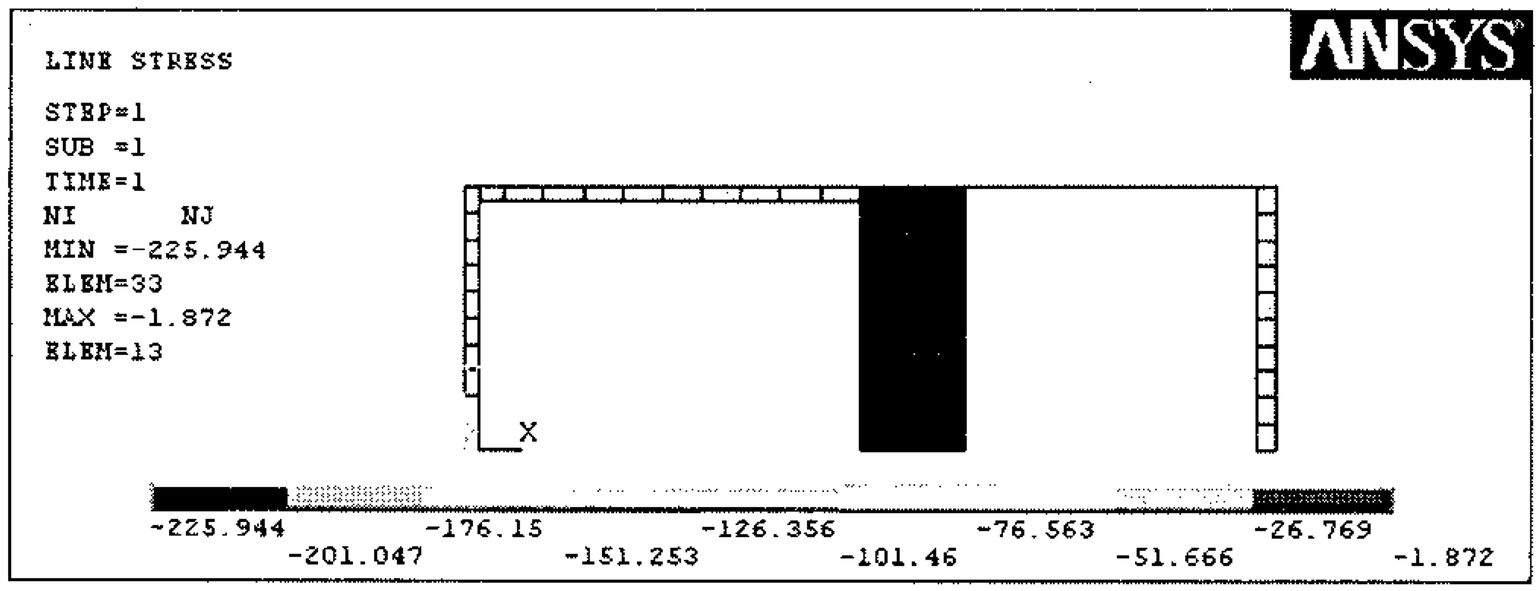
Hình 3.91. *Chuyển vị khung USUM (gối phải bị lún)*



Hình 3.92. *Biểu đồ mômen uốn*



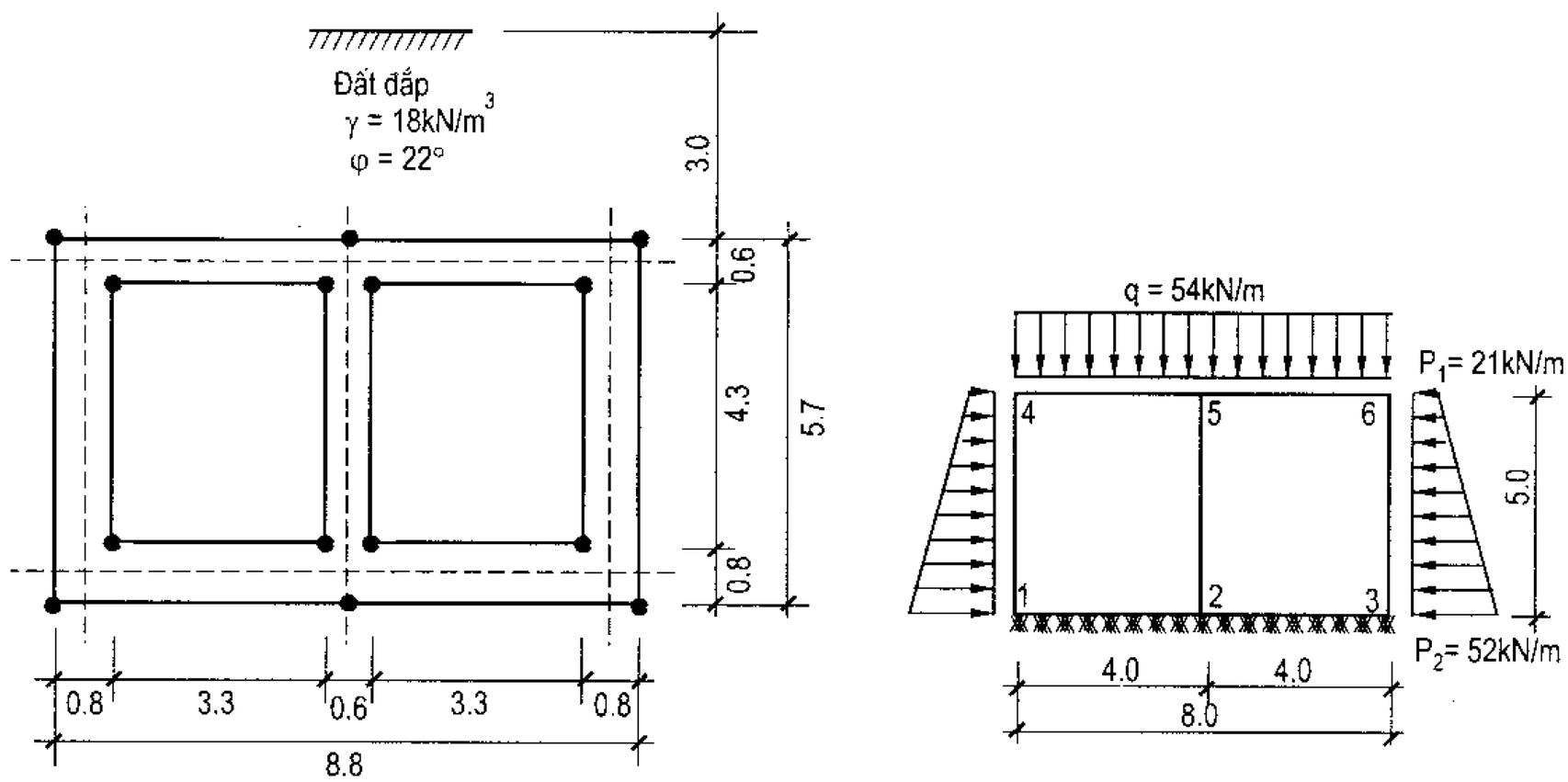
Hình 3.93. Biểu đồ lực cắt



Hình 3.94. Biểu đồ lực dọc

• Ví dụ 3.7. Cống hộp hai khoang trên nền đàn hồi

Xác định chuyển vị và nội lực của một đơn vị chiều dài (1m) cống hộp 2 khoang đặt trên nền đàn hồi có hệ số nền $k_o = 1.8\times10^5 kN/m^3$ theo bài toán hệ thanh phẳng, có kích thước và chịu tải trọng như ở hình 3.95 với trường hợp trong cống chưa có nước.. Vật liệu bê tông có mô đun đàn hồi $E_b = 1.94\times10^7 kN/m^2$, hệ số Poisson $\mu = 0.2$.



Hình 3.95. Sơ đồ tính toán cống hộp

Giải theo phương thức GUI

- *Đặt tên bài toán:* Từ menu File > Change Title > Xuất hiện bảng Change Title.

Nhập: "Vidu 3.7-Khung tren nen dan hoi" > OK.

- *Tạo 6 điểm*: Từ menu Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS > Xuất hiện bảng Create Keypoints in Active Coordinate System.

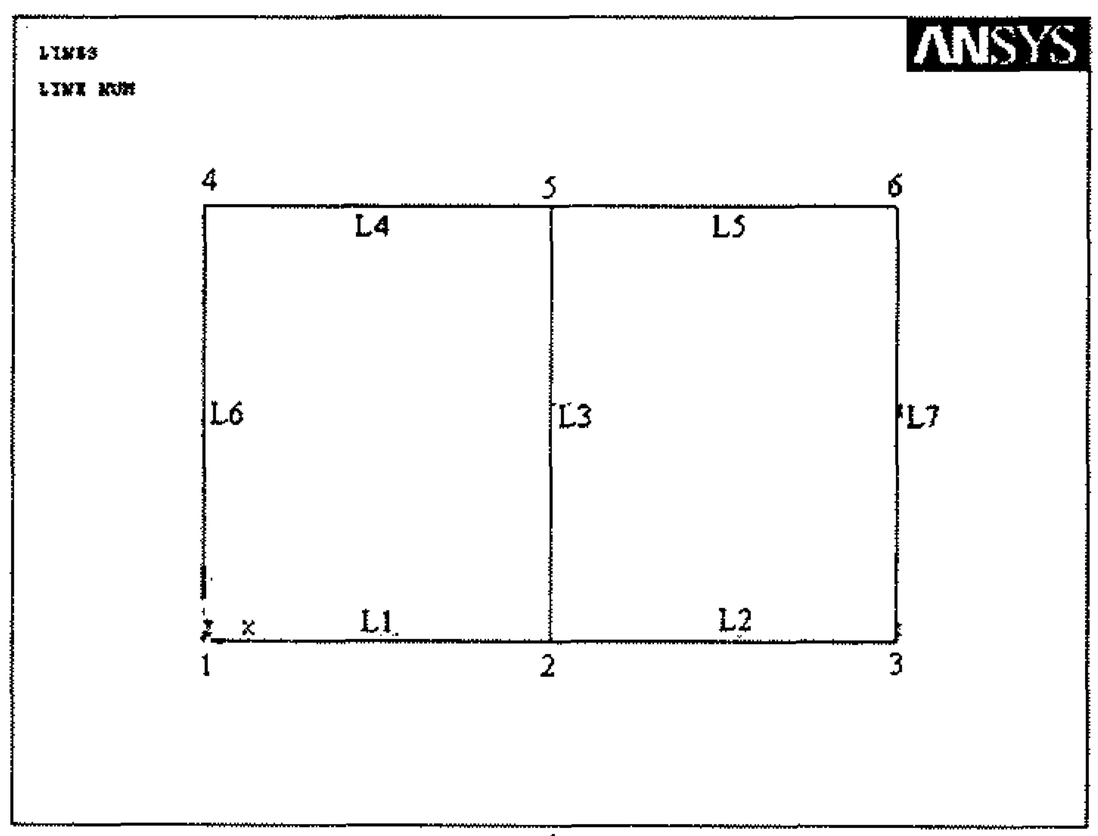
Nhập điểm 1 với tọa độ X=0, Y=0 > Apply vói hệ đơn vị chọn là kN, m

Nhập điểm 2 với tọa độ X=4, Y=0 > Apply

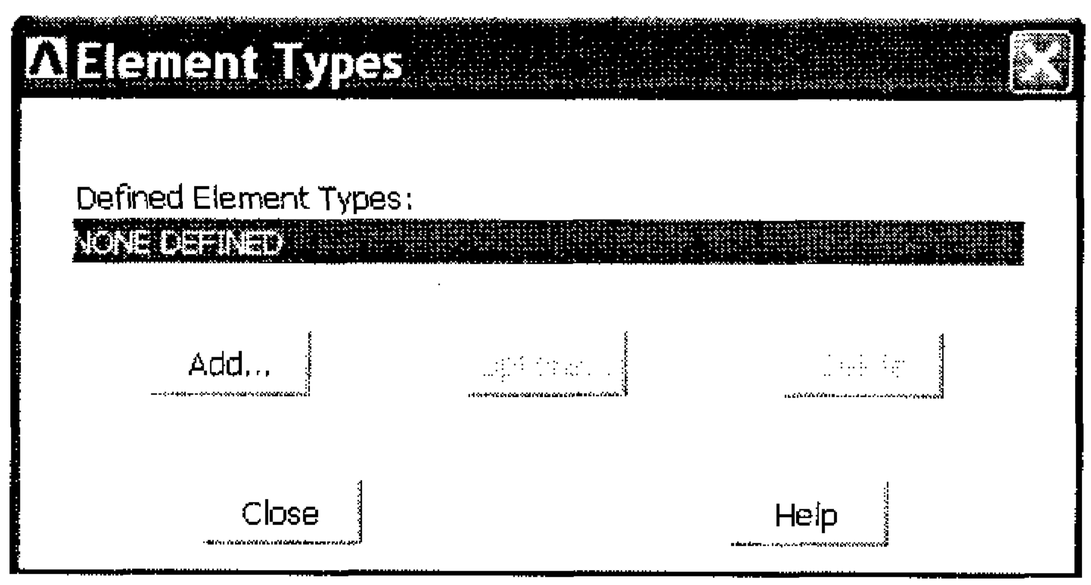
Nhập điểm 3 với tọa độ X=8, Y=0 > OK

Sau đó dùng chức năng Copy tạo ba điểm 4, 5, 6, từ menu Preprocessor > Modeling > Copy > Keypoint > Nhấn chuột vào nút 1, 2, 3 > OK > Xuất hiện bảng Copy Keypoints > Nhập ITIME=2 và DY=5 > OK, ta có 6 điểm 1, 2, 3, 4., 5 và 6.

- *Vẽ các đoạn thẳng*: Từ Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Straight Line > Nhấn chuột lần lượt vào nút 1-2, 2-3, 4-5, 5-6, 1-4, 2-3, 3-6, ta có mô hình khung gồm 7 đoạn thẳng như ở hình 3.96.

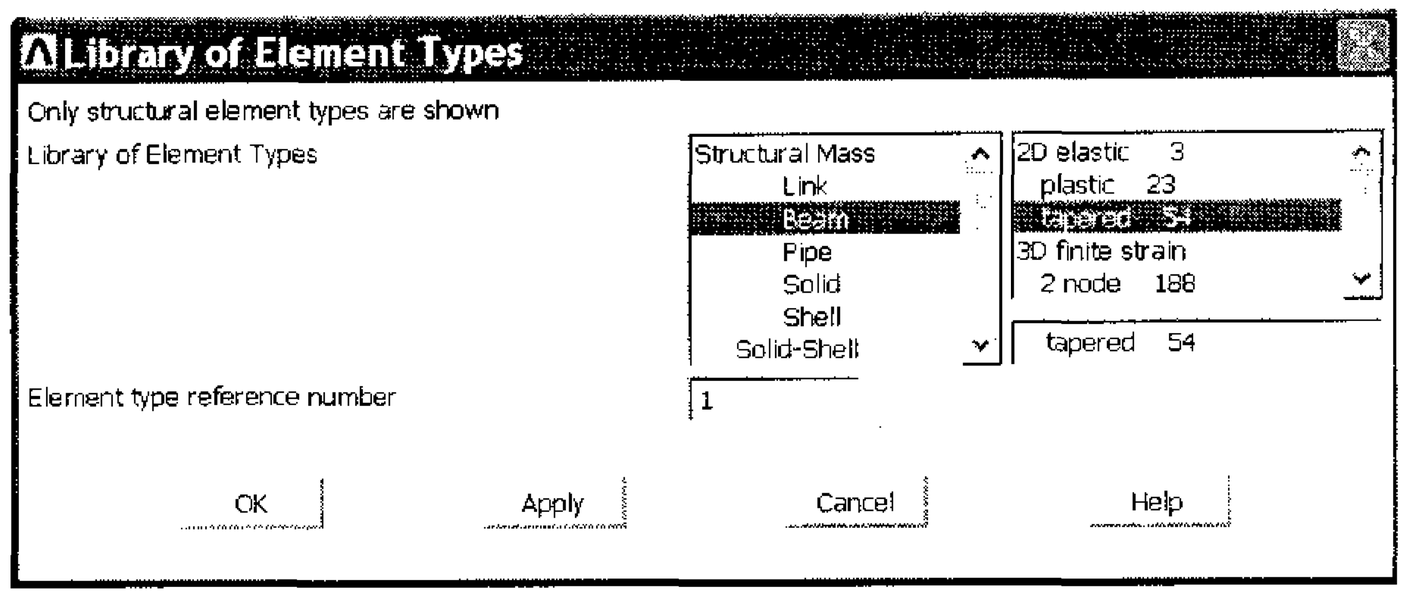


***Hình 3.96**. Mô hình hóa khung*



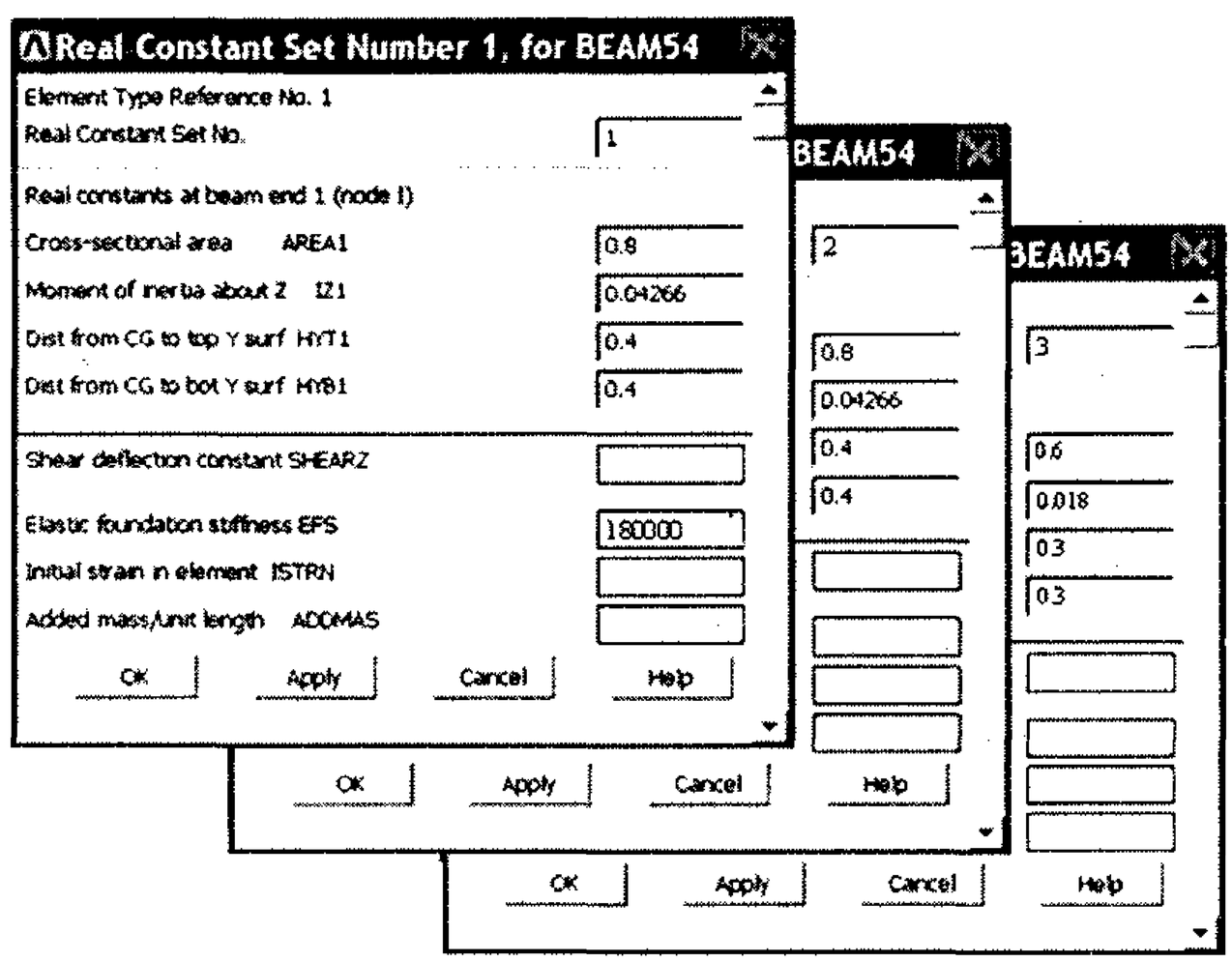
***Hình 3.97**. Định nghĩa loại phần tử*

- *Chọn loại phần tử:* Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Xuất hiện Element Type như ở hình 3.97 > Add > Xuất hiện bảng Library of Element Types như ở hình 3.98 > Chọn phần tử BEAM54 ở hình này > OK > Chọn Options cho phần tử BEAM54.



Hình 3.98. *Chọn phần tử BEAM54*

- *Nhập đặc trưng hình học cho phần tử BEAM54:* Preprocessor > Real Cóntants > Add\ Edit\Delete > Xuất hiện bảng Real Constant Set Number 1, for BEAM54 như ở hình 3.99 và nhập các số liệu đặc trưng tiết diện và độ cứng của nền đàn hồi của phần tử BEAM54 như sau:



Hình 3.99. *Gán hằng số thực cho phần tử BEAM54*

- *Định nghĩa thuộc tính của vật liệu:* Preprocessor > Material Props > Material Model > Xuất hiện bảng Define Material Model Behavior > Nhấn nút Structural > Linear > Elastic > Isotropic > Xuất hiện bảng Linear Isotropic Properties for Material 1 > Nhập mô đun đàn hồi EX=1.94×10^7kN/m^2 và hệ số Poisson PRXY=0.2 > Xuất hiện lại bảng Linear Isotropic Properties for Material để nhập thêm vật liệu khác hoặc thoát khỏi chức năng này > Nhấn vào Material ở hàng trên cùng ở bảng này > Exit.

- *Gán thuộc tính cho các thanh của khung:* Preprocessor > Meshing > Mesh Distributed > Lines > Pick Lines > Nhấn chuột vào các thanh 1-2 và 2-3 (đường L1, L2) > Apply > Xuất hiện bảng Line Attributes > Nhập các thuộc tính của các thanh này như ở hình 3.100a:

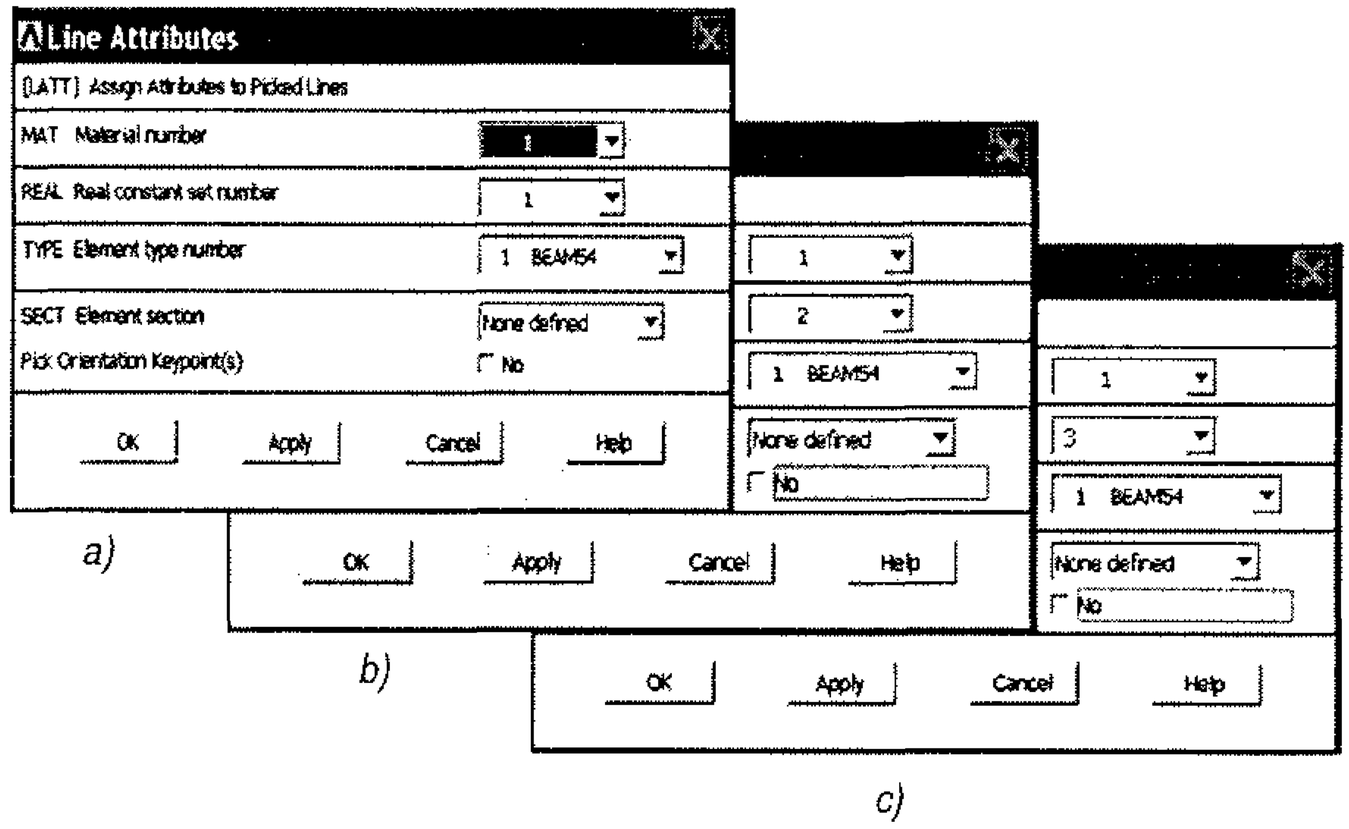
MAT=1, REAL=1, TYPE=1 BEAM54 > Apply

Tiếp tục nhấn chuột vào các thanh 1-4 và 3-6 (đường L5, L7) > Apply > Xuất hiện bảng Line Attributes > Nhập các thuộc tính của thanh như ở hình 3.100b:

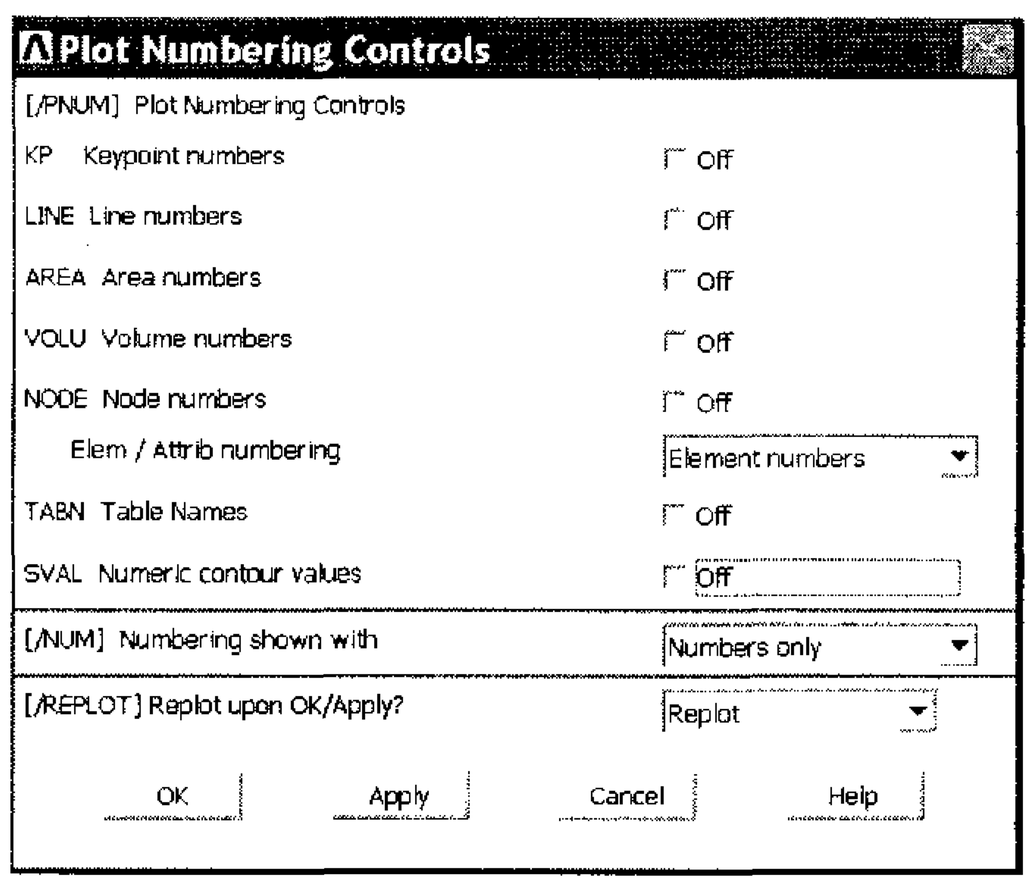
MAT=1, REAL=2, TYPE=1 BEAM54 > Apply

Tiếp tục nhấn chuột vào các thanh 4-5, 5-6 và 2-5 (đường L5, L7) > OK > Xuất hiện bảng Line Attributes > Nhập các thuộc tính của thanh như ở hình 2.100c

MAT=1, REAL=3, TYPE=1 BEAM54 > OK



Hình 3.100. *Gán thuộc tính cho các thanh*

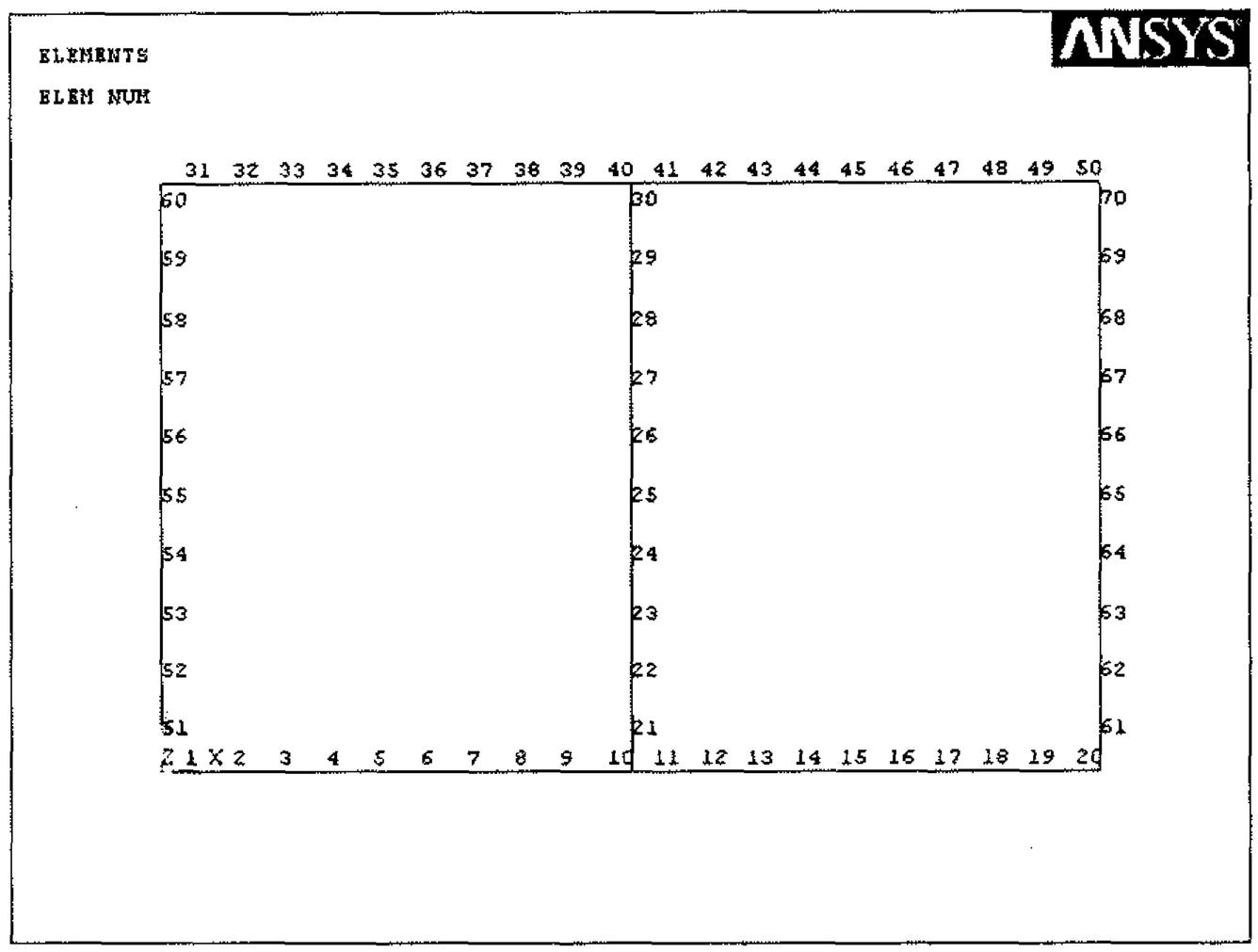


Hình 3.101. *Lệnh chọn hiển thị mã các phần tử*

- *Chọn kích thước lưới:* Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > Manual Size > Lines > All Lines > Xuất hiện bảng Element Sizes on All Selected Lines > Nhập NDIV = 10 > OK.

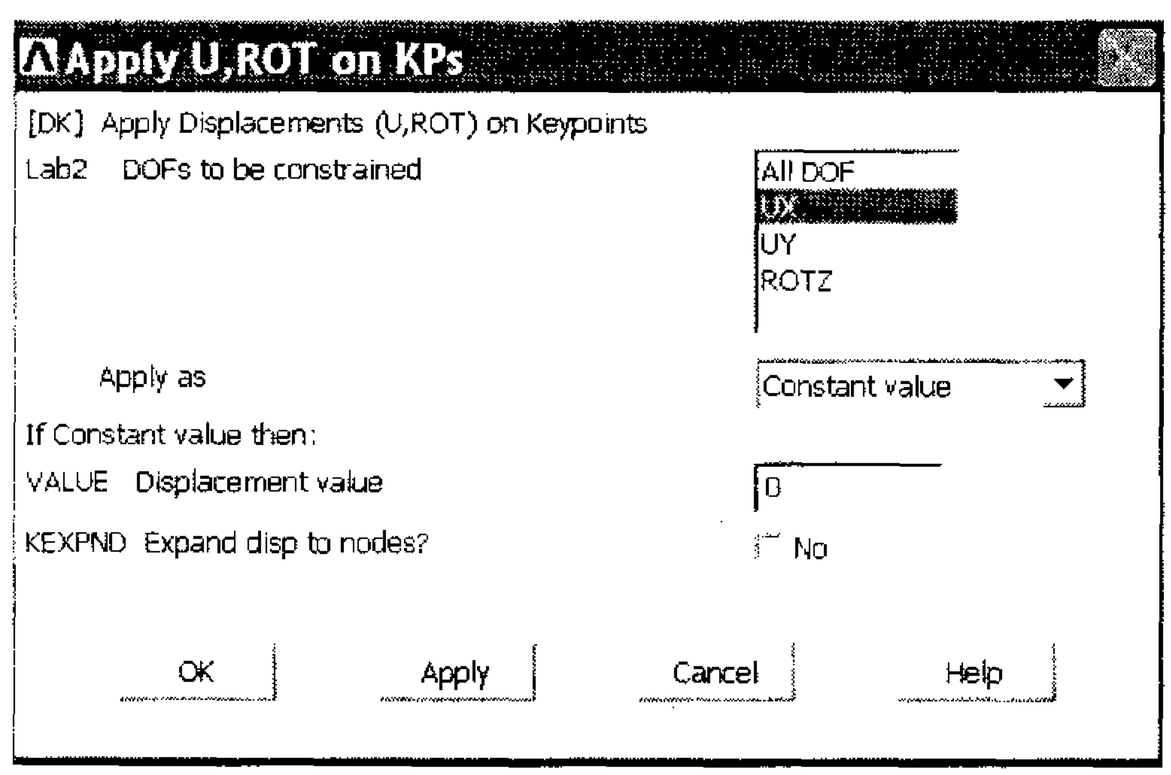
- *Chia lưới phần tử:* Preprocessor > Meshing > Mesh > Lines > Xuất hiện bảng Mesh Lines > Nhấn vào nút Pick All.

- *Hiển thị mã phần tử của khung:* Utility Menu > PlotContrls > Numbering > Plot Numbering Controls > Chọn [Element Numbers] trong Elem/Attrib Numberings và trong [/NUM] Numbering shown with chọn [Numbers only] như ở hình 3.101 > OK > Hiển thị mã các phần tử như ở hình 3.102.



Hình 3.102. *Vị trí và mã các phần tử*

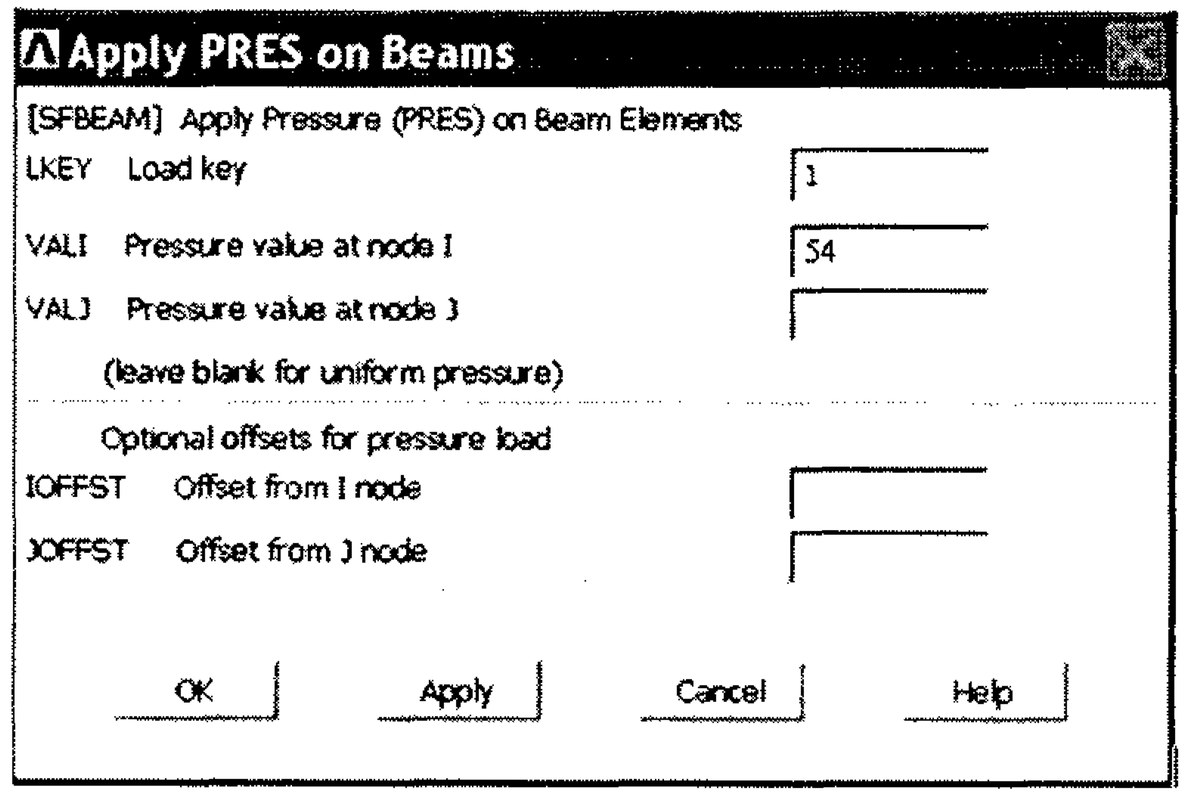
- *Định nghĩa kiểu phân tích*: Solution > Analysis Type > New Analysis > Bảng New Analysis > Chọn ⊙ Static > OK.



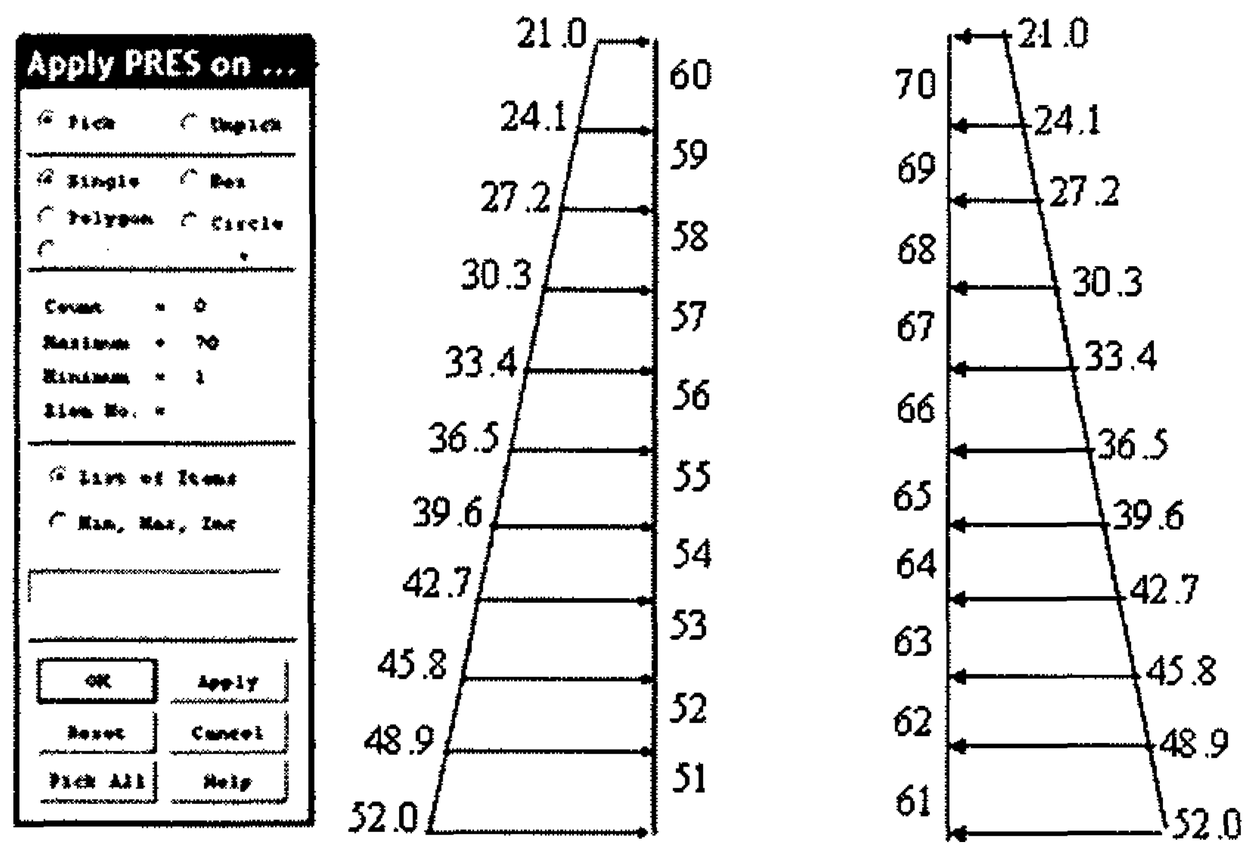
Hình 3.103. *Gán liên kết ngang vào nút 2*

- *Gán liên kết:* Solution > Define Loads > Apply > Displacement > On Keypoints > Chọn điểm 2 > OK > Xuất hiện bảng Apply U, ROT on KPs như ở hình 3.103 > Chọn Ux > Nhập giá trị chuyển vị VALUE = 0 > OK.

- *Gán tải trọng phân bố đều q vào đường L4 và L5 của khung*: Từ menu Solution > Define Loads > Apply > Pressures > Chọn các phần tử từ 31 đến 50 ở hình 3.102 > Apply > Apply PRES on Beams > Nhập giá trị tải trọng phân bố đều q=54kN/m như ở hình 3.104 > OK.



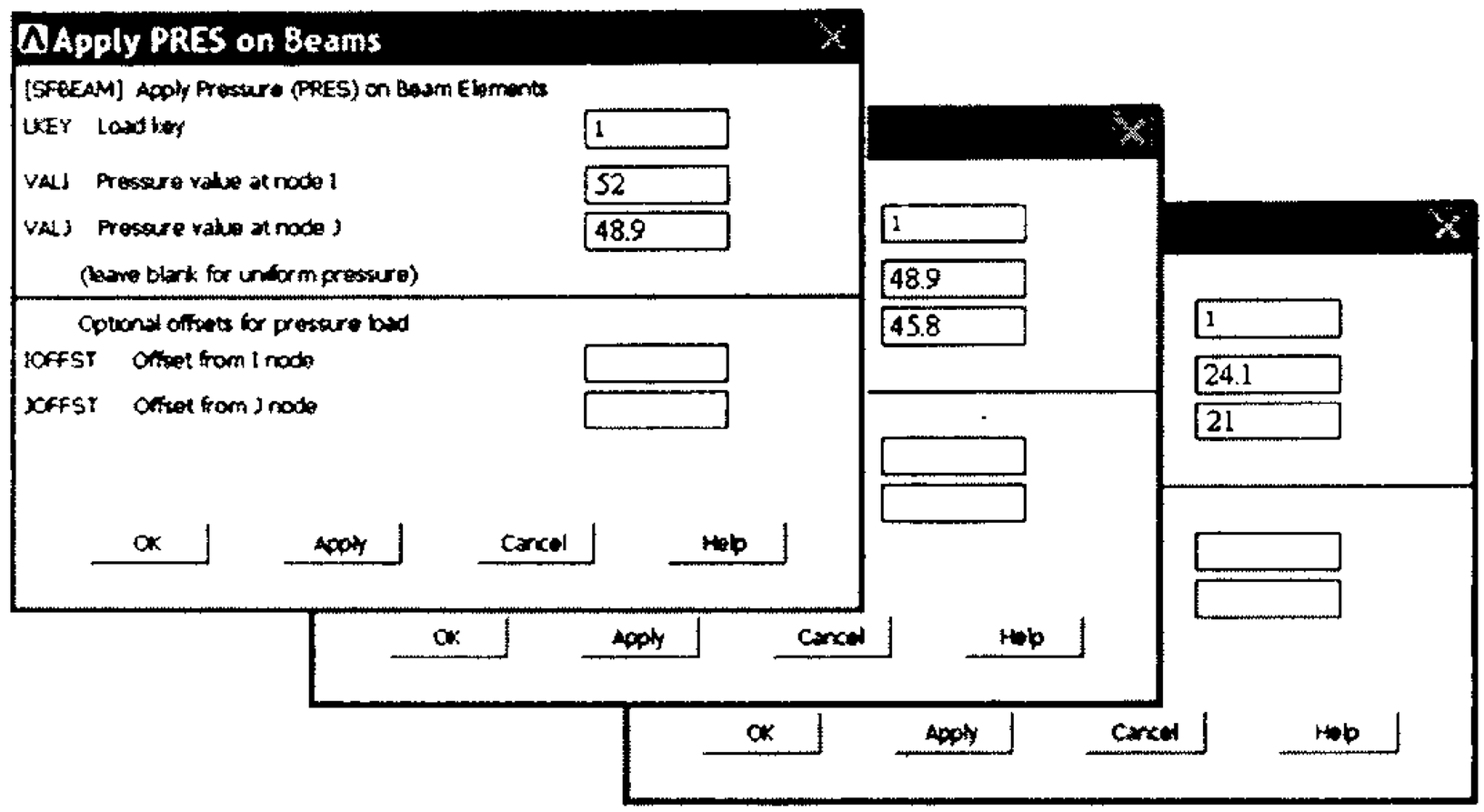
Hình 3.104. *Gán tải trọng phân bố đều vào bản nắp cống*



Hình 3.105. *Gán tải trọng phân bố hình thang vào khung*

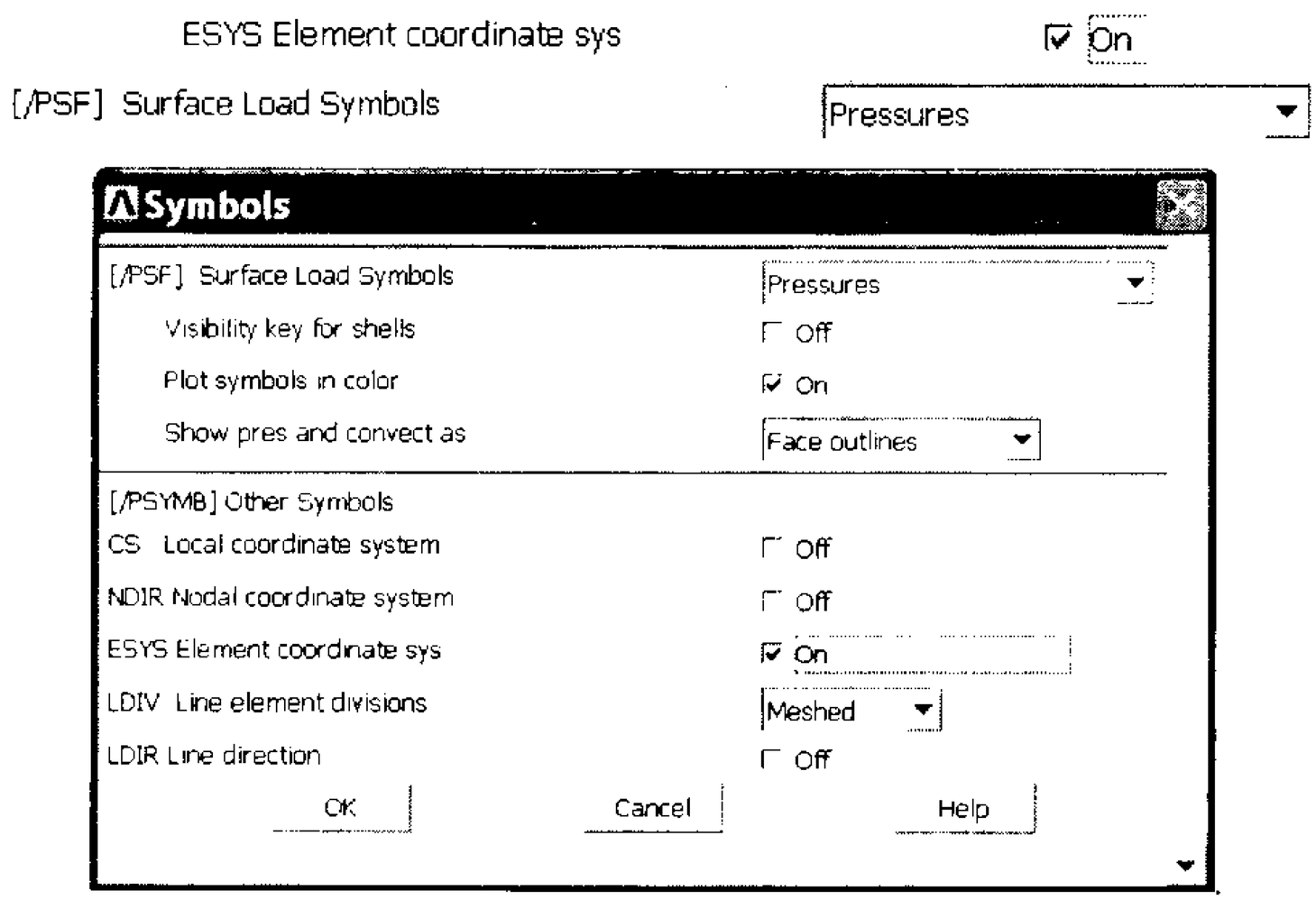
Tiếp tục gán tải trọng phân bố hình thang vào các phần tử ở hai vách bên cống từ phần tử 51 đến 60 và từ phần tử 61 đến 70: Solution > Define Loads > Apply > Pressures > Chọn phần tử 51 ở hình 3.102 > Apply > Xuất hiện bảng Apply PRES on Beams và nhập giá trị tương ứng cho ở hình 3.105 > Nhập VALI = 52 và VALJ = 48.9 như ở hình 3.106 > Apply > Chọn phần tử 52 > Apply > Apply PRES on Beams > Nhập

VALI = 48.9 và VALJ = 45.8 > Apply >... Các áp lực gán mang dấu (+) do có chiều ngược với chiều (+) của trục Y của phần tử.



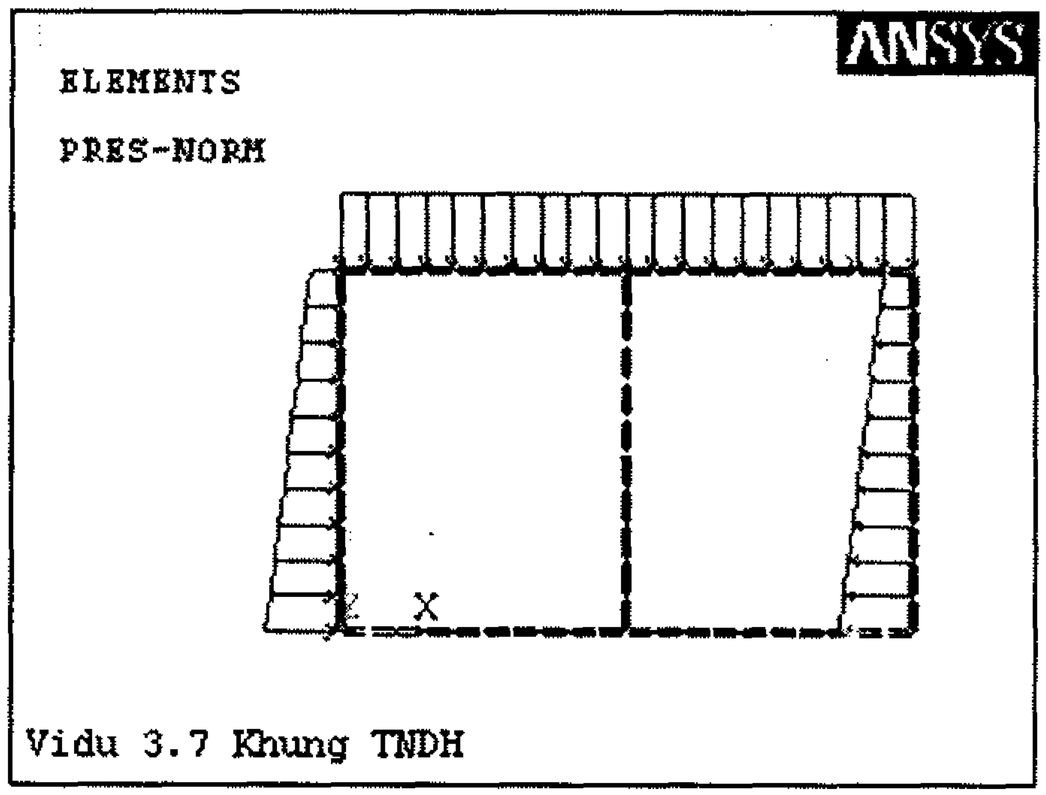
Hình 3.106. Gán áp lực đất bên vào vách trái

Dùng chuột chọn phần tử 61 ở hình 3.102 > Apply > Apply PRES on Beams > Nhập VALI = -52 và VALJ = -48.9 > Apply > Chọn phần tử 62 > Apply > Apply PRES on Beams > VALI = -48.9 và VALJ = -45.8 > Apply > ...> OK. Các áp lực gán mang dấu (-) do có chiều cùng chiều với chiều (+) của trục cục bộ Y của phần tử. Chiều trục cục bộ y của phần tử được hiển thị qua lệnh sau: Plot Ctrls > Symbols > Xuất hiện bảng Symbols > Chọn hiển thị trục cục bộ y và hiển thị tải trọng phân bố tác dụng vào cống theo 2 lệnh sau ở hình 3.107.



Hình 3.107. Lệnh hiển thị áp lực và hệ trục cục bộ

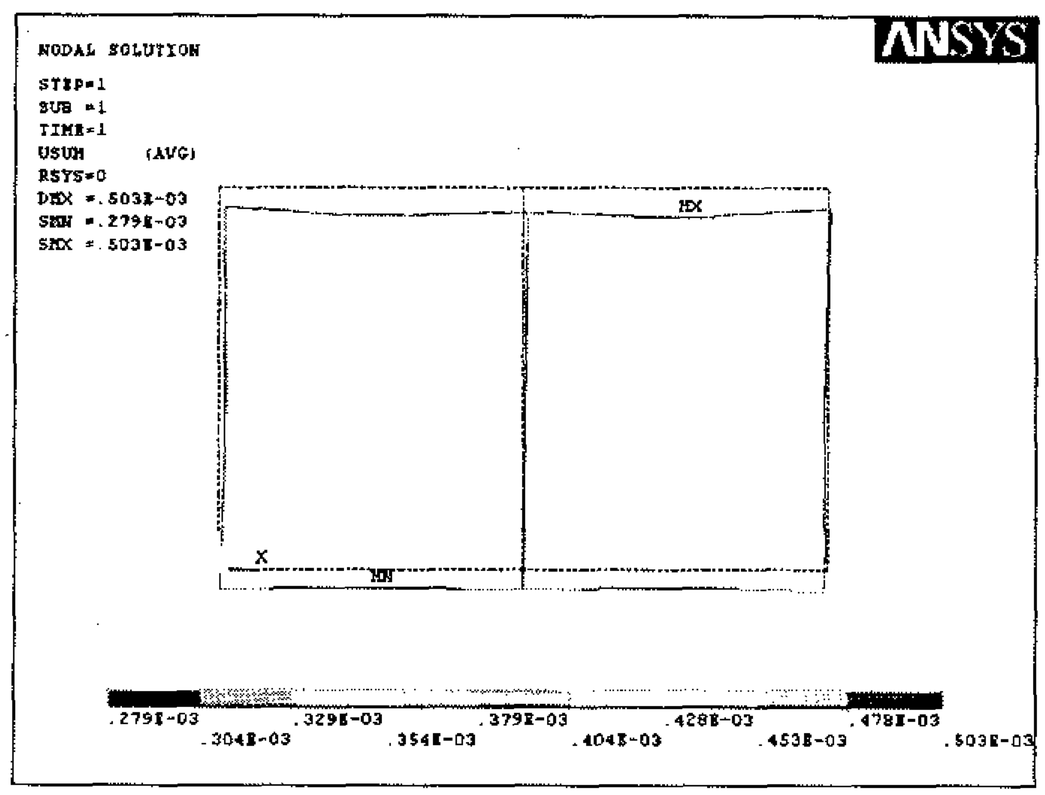
Sau khi nhấn OK ta có sơ đồ tải trọng phân bố tác dụng lên cống được thể hiện ở hình 3.108.



Hình 3.108. *Sơ đồ tải trọng tác dụng lên cống*

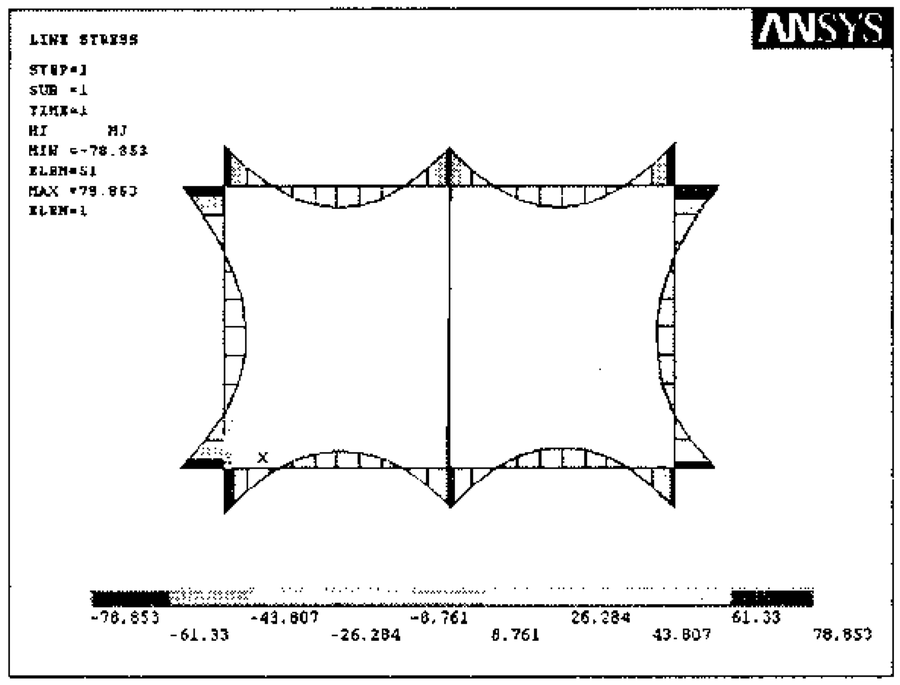
- *Chạy chương trình:* Solution > Solve > Currunt LS > Solution is done > Thông báo việc giải đã hoàn thành > Close.

- *Chuyển vị của khung*: General Postproc > Plot Results > Nodal Solution > Contour Nodal Solution Data > Nodal Solution > Displacement Vector SUM > OK > Xuất hiện hình dạng biến dạng của khung như ở hình 3.109, cho biết chuyển vị toàn phần lớn nhất DMX = 0.0005038m.



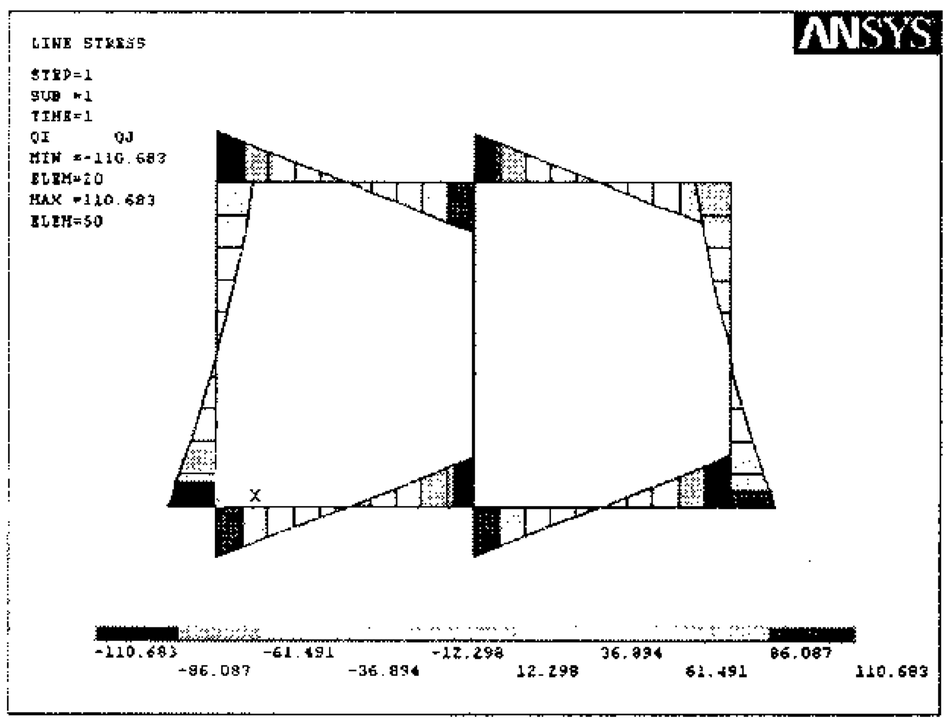
Hình 3.109. *Hình dạng biến dạng của khung*

Hiển thị biểu đồ mômen uốn: General Postprocessor > Element Table > Define Table > Define Addition al Element Table Items > Nhập mã đầu I là MI với SMSC,6 > Apply > Đầu J là MJ với SMSC,12 > OK. General Postprocessor > Plot Resul > Contour Plot > Line Element Result > Plot Line- Element Results > Chọn mã nội lực ở đầu I là MI, mã đầu J là MJ > OK, ta có biểu đồ mômen uốn như ở hình 3.110.

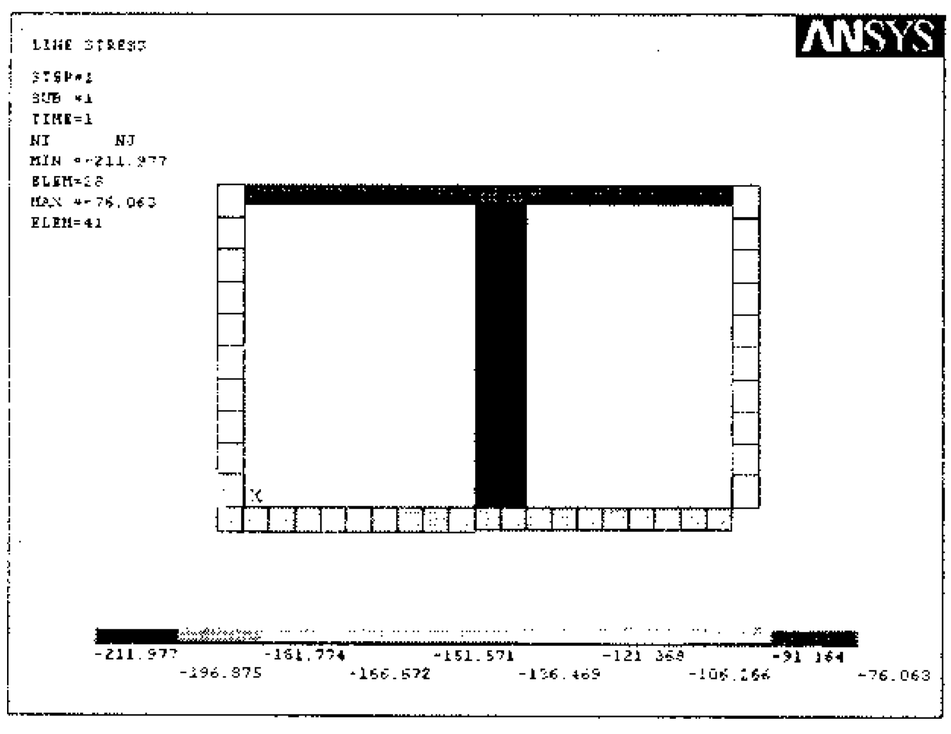


Hình 3.110. *Biểu đồ mômen uốn*

- *Hiển thị biểu đồ lực cắt:* Cũng thực hiện tương tự nhập mã đầu I là QI với SMSC, 2 > Apply; mã đầu J là QJ với SMSC, 8. Chọn mã nội lực trong Plot Line-Element Results > Ở đầu I là QI và đầu J là QJ > OK, ta có biểu đồ lực cắt như ở hình 3.111. Tương tự ta cũng có biểu đồ lực dọc như ở hình 3.112.



Hình 3.111. *Biểu đồ lực cắt*



Hình 3.112. *Biểu đồ lực dọc*

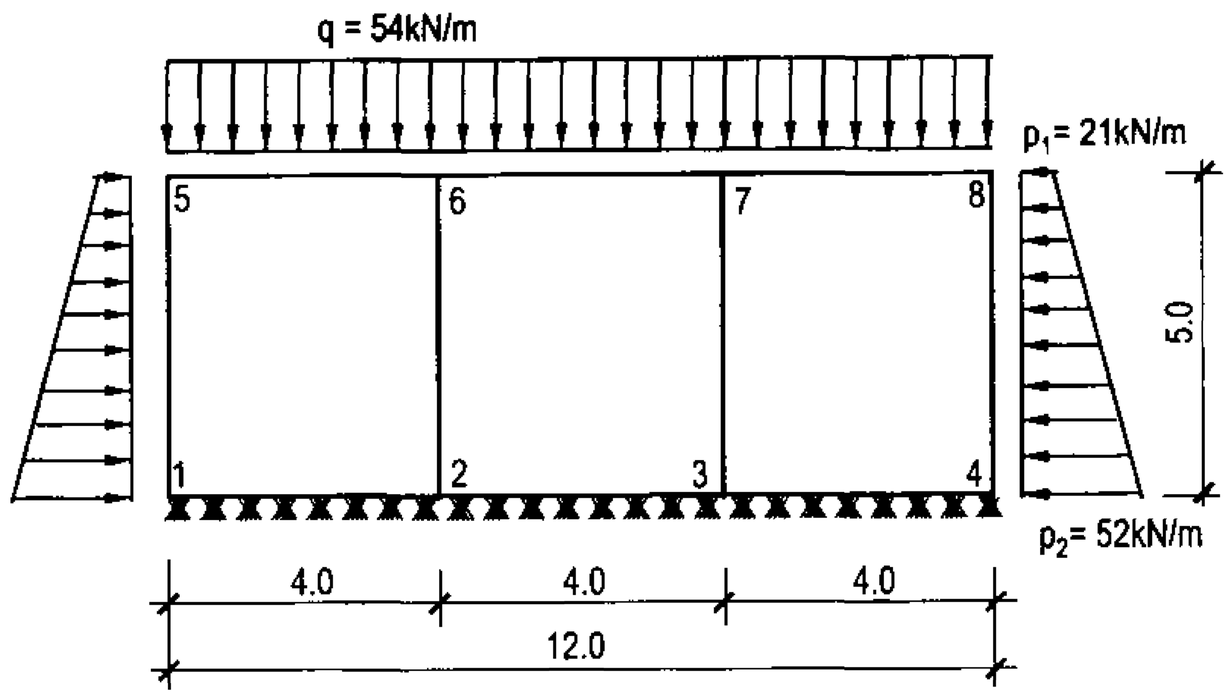
Vidu 3.7-KTNDH - Notepad

File Edit Format View Help

```
/TITLE,Vidu 3.7 Khung TNDH
/PREP7
ET,1,Beam54
MP,EX,1,1.94E7
MP,PRXY,1,0.2
R,1,0.8,0.04267,0.8
RMODIF,1,16,1.8e5
R,2,0.8,0.04267,0.8
R,3,0.6,0.018,0.6
K,1,0,0,0
K,4,0,5,0
KGEN,3,1,3,1,4
KGEN,3,4,6,1,4
TYPE,1
MAT,1
REAL,1
L,1,2
L,2,3
ESIZE,0,10
LMESH,ALL
TYPE,1
MAT,1
REAL,3
L,2,5
L,4,5
L,5,6
ESIZE,0,10
LMESH,ALL
TYPE,1
MAT,1
REAL,2
L,1,4
L,3,6
ESIZE,0,10
LMESH,ALL
/SOLUTION
ANTYPE,0
DK,2,UX,0
SFBEAM,31:50,1,PRES,54
SFBEAM,51,1,PRES,52,48.9
SFBEAM,52,1,PRES,48.9,45.8
SFBEAM,53,1,PRES,45.8,42.7
SFBEAM,54,1,PRES,42.7,39.6
SFBEAM,55,1,PRES,39.6,36.5
SFBEAM,56,1,PRES,36.5,33.4
SFBEAM,57,1,PRES,33.4,30.3
SFBEAM,58,1,PRES,30.3,27.2
SFBEAM,59,1,PRES,27.2,24.1
SFBEAM,60,1,PRES,24.1,21
SFBEAM,61,1,PRES,-52,-48.9
SFBEAM,62,1,PRES,-48.9,-45.8
SFBEAM,63,1,PRES,-45.8,-42.7
SFBEAM,64,1,PRES,-42.7,-39.6
SFBEAM,65,1,PRES,-39.6,-36.5
SFBEAM,66,1,PRES,-36.5,-33.4
SFBEAM,67,1,PRES,-33.4,-30.3
SFBEAM,68,1,PRES,-30.3,-27.2
SFBEAM,69,1,PRES,-27.2,-24.1
SFBEAM,70,1,PRES,-24.1,-21
/SOLU
SOLVE
/POST1
ETABLE,MI,SMISC,6
ETABLE,MJ,SMISC,12
ETABLE,QI,SMISC,2
ETABLE,QJ,SMISC,8
ETABLE,NI,SMISC,1
ETABLE,NJ,SMISC,7
FINISH
```

- **Ví dụ 3.8. Cống hộp ba khoang trên nền đàn hồi**

Xác định chuyển vị và nội lực của cống hộp 3 khoang đặt trên nền đàn hồi với hệ số nền $k_o = 1{,}8\times10^5 kN/m^3$ theo bài toán hệ thanh phẳng, sơ đồ tính toán có kích thước và chịu tải trọng như ở hình 3.113. Vật liệu bê tông có mô đun đàn hồi $E_b = 1.94\times10^7 kN/m^2$, hệ số Poisson $\mu = 0.2$.



Hình 3.113. Sơ đồ tính toán cống hộp

Bài toán cống hộp 3 khoang có số liệu tương tự cống 2 khoang, chỉ khác là thêm khoang thứ ba, nên cách giải nhanh nhất là dùng phương thức APDL.

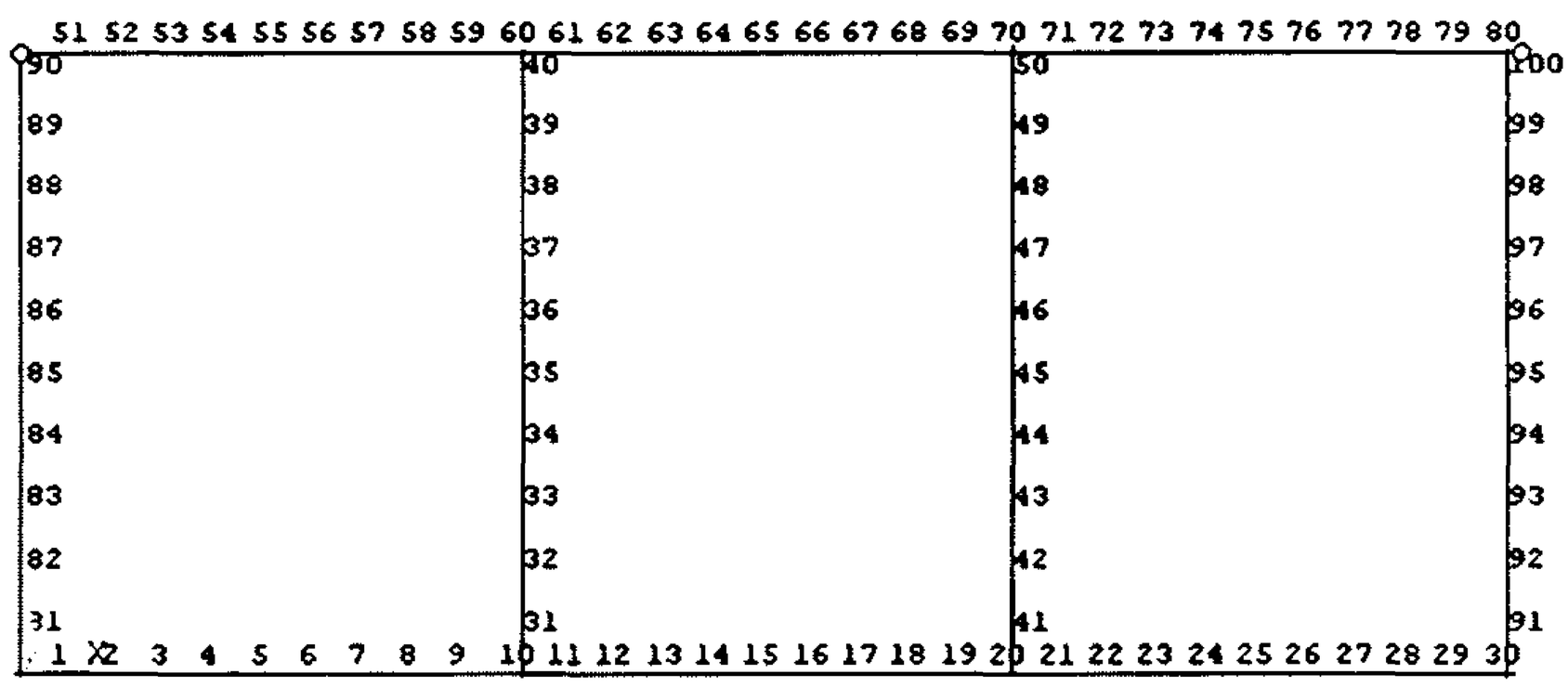
Copy file Vidu 3.7-Khung TNDH.txt > Save as > Vidu 3.8-Khung TNDH.txt > Save và sửa các dữ liệu cho phù hợp với sơ đồ cho ở hình 3.113. Từ hình 3.114 hiển thị mã các phần tử Beam cho thấy tải trọng phân bố đều được gán vào các phần tử từ 51 đến 80, tải trọng bên phân bố hình thang được gán vào vách trái từ phần tử 81 đến 90 mang dấu dương, còn vách phải từ phần tử 91 đến 100 mang dấu âm.

Cho chạy chương trình File > Read Input from > Chọn file Vidu 3.8-KTNDH.txt > OK > Solution is done > Close. Khai thác kết quả tính toán, biểu đồ mômen uốn cho ở hình 3.115 và biểu đồ lực cắt cho ở hình 3.116.

Kết quả tính toán:

Mômen uốn M: MAX=73.985kNm; MIN=-75.985kNm

Lực cắt Q: MAX=109.889kNm; MIN=-109.889kNm



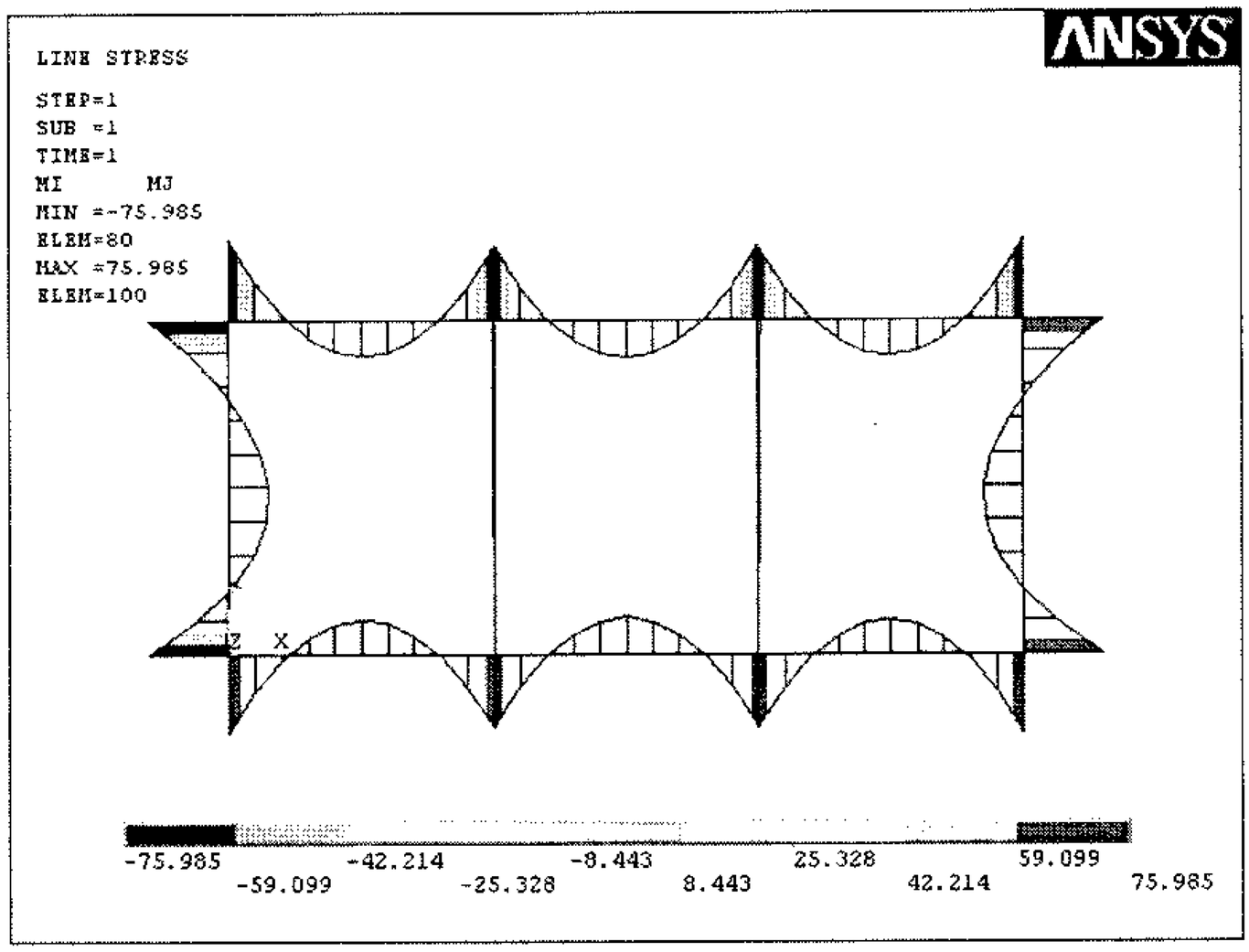
Hình 3.114. Mã các phần tử Beam của cống 3 khoang

Vidu 3.8-KTNDH - Notepad

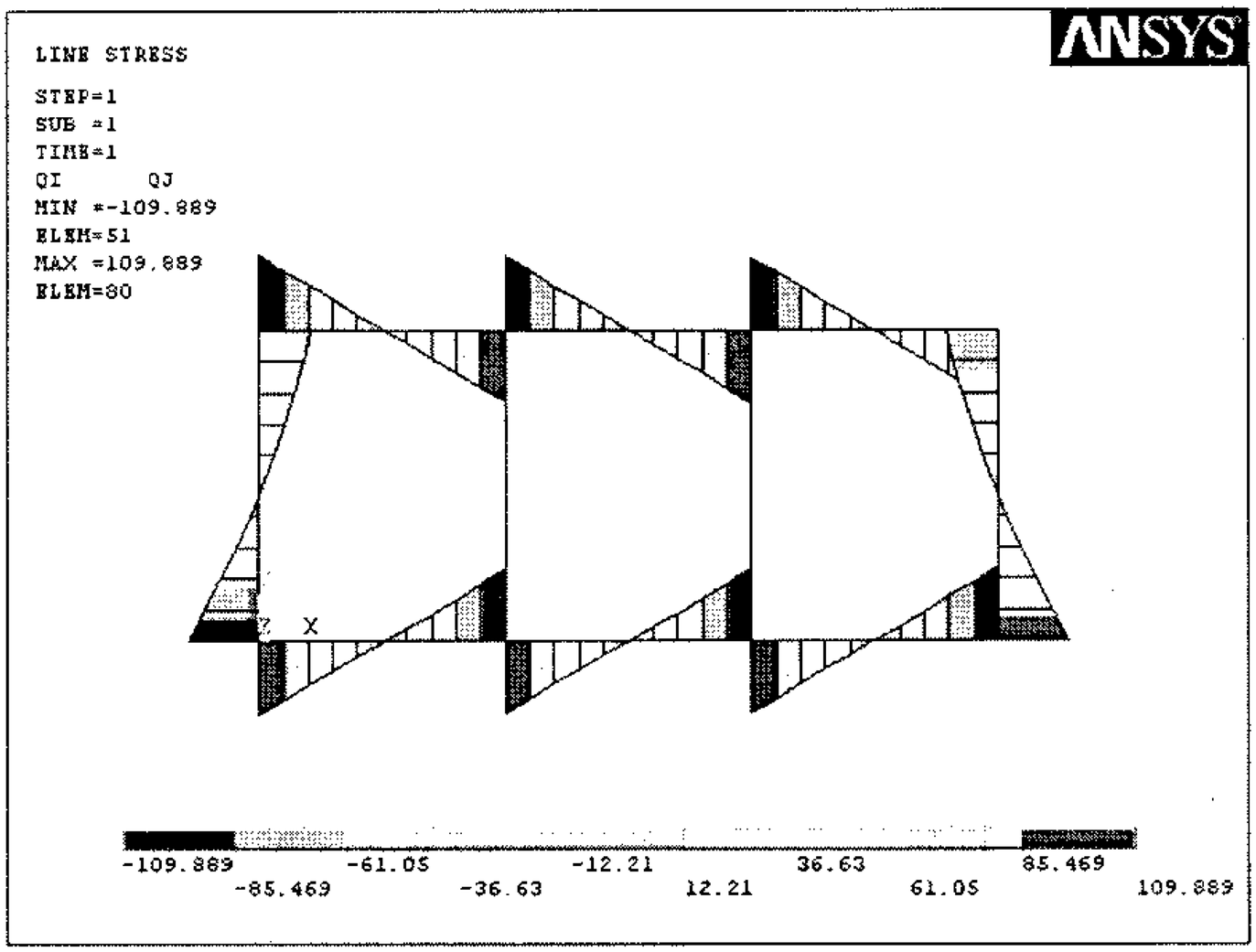
File Edit Format View Help

PHƯƠNG THỨC APDL

```
/TITLE,Vidu 3.8 Khung TNDH
/PREP7
ET,1,Beam54
MP,EX,1,1.94E7
MP,PRXY,1,0.2
R,1,0.8,0.04267,0.8
RMODIF,1,16,1.8e5
R,2,0.8,0.04267,0.8
R,3,0.6,0.018,0.6
K,1,0,0,0
K,5,0,5,0
KGEN,4,1,4,1,4
KGEN,4,5,8,1,4
TYPE,1
MAT,1
REAL,1
L,1,2
L,2,3
L,3,4
ESIZE,0,10
LMESH,ALL
TYPE,1
MAT,1
REAL,3
L,2,6
L,3,7
L,5,6
L,6,7
L,7,8
ESIZE,0,10
LMESH,ALL
TYPE,1
MAT,1
REAL,2
L,1,5
L,4,8
ESIZE,0,10
LMESH,ALL
/SOLUTION
ANTYPE,0
DK,2,UX,0
SFBEAM,51:80,1,PRES,54
SFBEAM,81,1,PRES,52,48.9
SFBEAM,82,1,PRES,48.9,45.8
SFBEAM,83,1,PRES,45.8,42.7
SFBEAM,84,1,PRES,42.7,39.6
SFBEAM,85,1,PRES,39.6,36.5
SFBEAM,86,1,PRES,36.5,33.4
SFBEAM,87,1,PRES,33.4,30.3
SFBEAM,88,1,PRES,30.3,27.2
SFBEAM,89,1,PRES,27.2,24.1
SFBEAM,90,1,PRES,24.1,21
SFBEAM,91,1,PRES,-52,-48.9
SFBEAM,92,1,PRES,-48.9,-45.8
SFBEAM,93,1,PRES,-45.8,-42.7
SFBEAM,94,1,PRES,-42.7,-39.6
SFBEAM,95,1,PRES,-39.6,-36.5
SFBEAM,96,1,PRES,-36.5,-33.4
SFBEAM,97,1,PRES,-33.4,-30.3
SFBEAM,98,1,PRES,-30.3,-27.2
SFBEAM,99,1,PRES,-27.2,-24.1
SFBEAM,100,1,PRES,-24.1,-21
/SOLU
SOLVE
/POST1
ETABLE,MI,SMISC,6
ETABLE,MJ,SMISC,12
FINISH
```



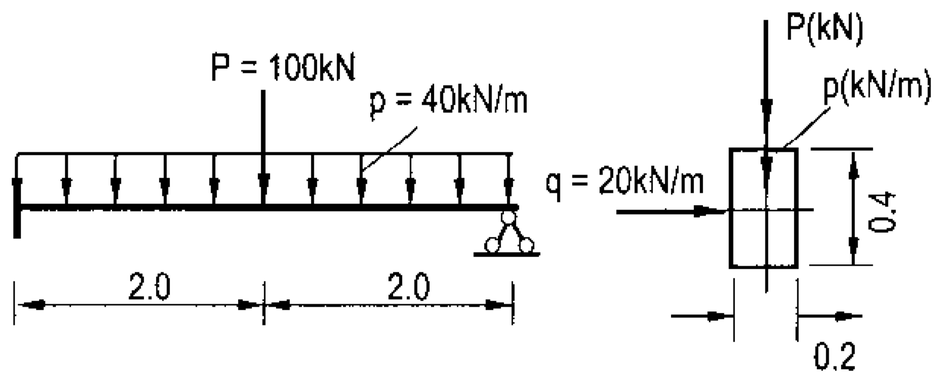
Hình 3.115. Biểu đồ mômen uốn



Hình 3.116. Biểu đồ lực cắtt

• Ví dụ 3.9. Dầm chịu uốn xiên

Xác định chuyển vị và nội lực của dầm 1 nhịp, một đầu ngàm, một đầu khớp chịu uốn xiên có sơ đồ tính toán cho ở hình 3.117. Dầm tiết diện chữ nhật có $A = 0.2\times0.4 = 0.08m$, $I_z = 2.667\times10^{-4}m^4$, $I_y = 1.067\times10^{-3}m^4$, $J_x = 1.333\times10^{-3}m^4$. Vật liệu bê tông có mô đun đàn hồi $E = 2.4\times0^7kN/m^2$, $\mu = 0.2$.



Hình 3.117. *Sơ đồ tính toán dầm*

1. Phương thức GUI

- *Đặt tên bài toán*: File > Change Title > Change Title: Vi du 3.9-Dam uon xien > OK

- *Tạo 2 điểm 1 và 2*: Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS > Xuất hiện bảng Create Keypoints in Active Coordinate System:

Nhập điểm 1 với tọa độ X=0, Y=0, Z=0 > Apply với hệ đơn vị chọn: kN, m

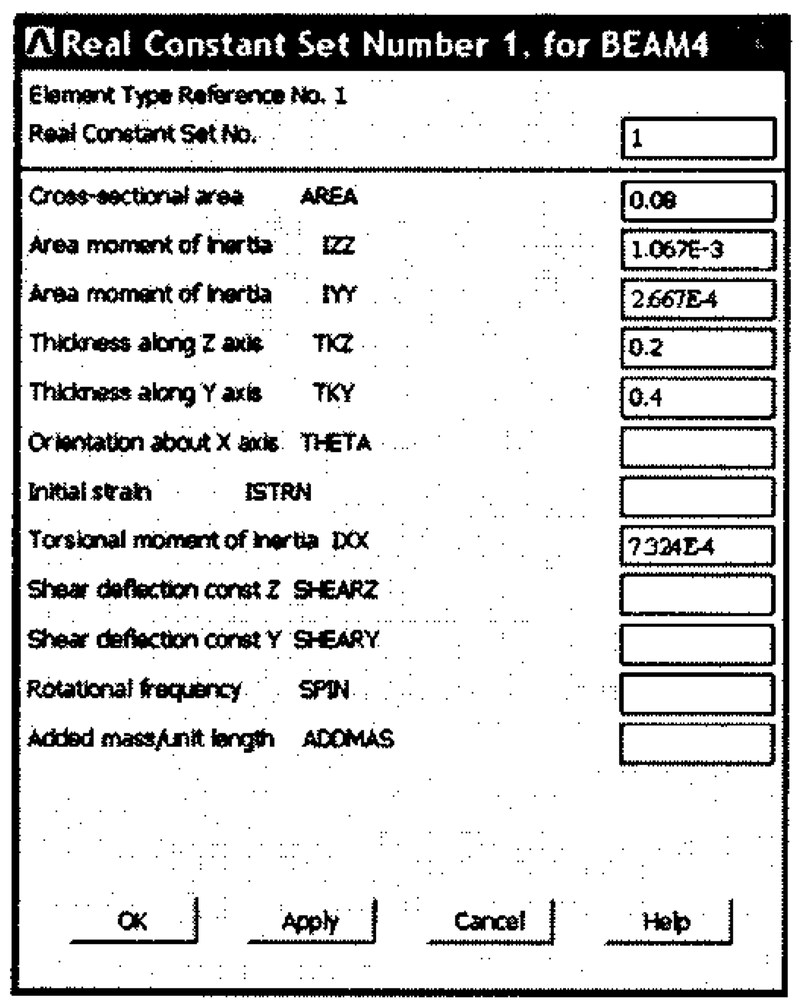
Nhập điểm 2 với tọa độ X=2, Y=0, Z=0 > Apply

Nhập điểm 3 với tọa độ X=4, Y=0, Z=0 > OK

- *Chọn phần tử BEAM4:* Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Element Type > Add > Library of Element Types > Add > Chọn Beam > Chọn 3D elastic 4> OK > Close.

- *Định nghĩa thuộc tính của vật liệu:* Preprocessor > Material Props > Material Model > Xuất hiện bảng Define Material Model Behavior > Structural > Linear > Elastic > Orthotropic > Xuất hiện bảng Linear Orthotropic Properties for Material > Nhập EX=2.4×10^7, PRXY=0.2 > OK > Material > Exit.

- *Định nghĩa hằng số thực:* Preprocessor > Real Constants > Add > Real Const.Set Number 1, for BEAM4 > Nhập các hằng số thực AREA=0.08, IZZ=1.067E-3, IYY=2.667E-4, TKZ=0.2, TKY=0.4, IXX=7.324E-4 như ở hình 3.118 > OK > Close.



Hình 3.118. *Nhập hằng số thực*

- *Chọn kích thước lưới:* Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > Manual Size > Lines > All Lines > Element Sizes on All Selected Lines > Nhập số lượng đoạn chia NDIV = 10 > OK.

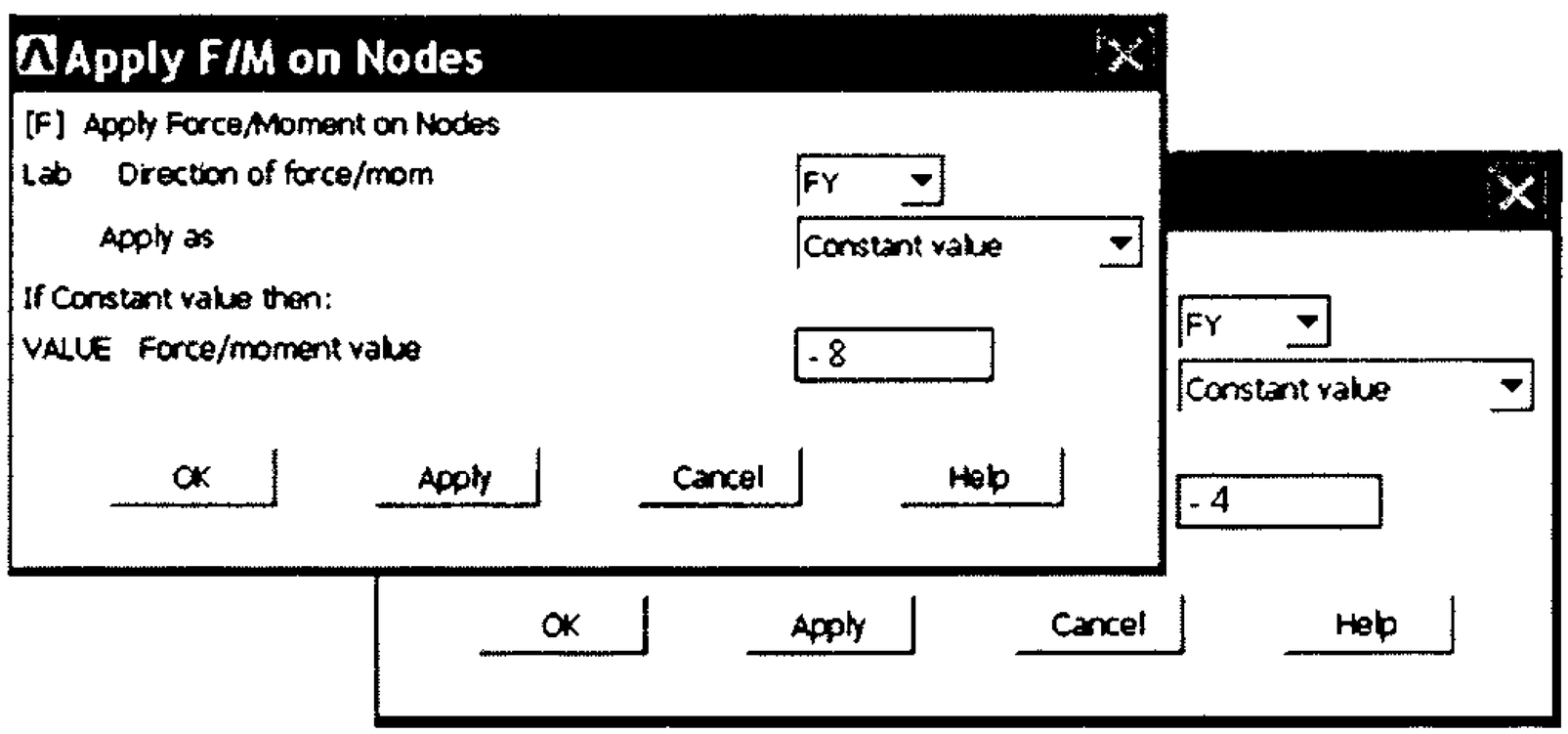
- Chia lưới phần tử: Preprocessor > Meshing > Mesh > Lines > Pick All.

- *Định nghĩa kiểu phân tích:* Solution > Analysis Type > New Analysis > New Analysis > ⊙ Static > OK.

- *Gán liên kết:* Solution > Define Loads > Apply > Displacement > On Keypoints > Chọn điểm 1 > Apply > Apply U, ROT on KPs > Chọn All DOF > Nhập VALUE = 0 > Apply > Chọn điểm 3 > Apply > Apply U, ROT on KPs > Chọn UY, UZ > Nhập VALUE = 0 > OK.

- *Gán tải trọng phân bố đều q=20:* Solution > Define Load > Apply > Structural > Pressure > Nhấn chuột vào tất cả các phần tử Beam từ 1 đến 20 của dầm > Apply > Apply PRES on Beams > Pressure Value at I VALI=20 > OK.

- *Gán tải trọng phân bố đều p*: Solution > Define Load > Apply > Structural > Force/MomentPressure > Nhấn chuột vào tất cả các nút (Nodes) trên dầm (trừ nút hai đầu dầm) > Apply > Apply F/M on Nodes > Chọn FY và nhập VALUE=-8.(40×2/10=8) > Apply > Chọn 2 nút ở hai đầu dầm > Nhập VALUE=-4 (8/2=4) như ở hình 3.119 > OK.

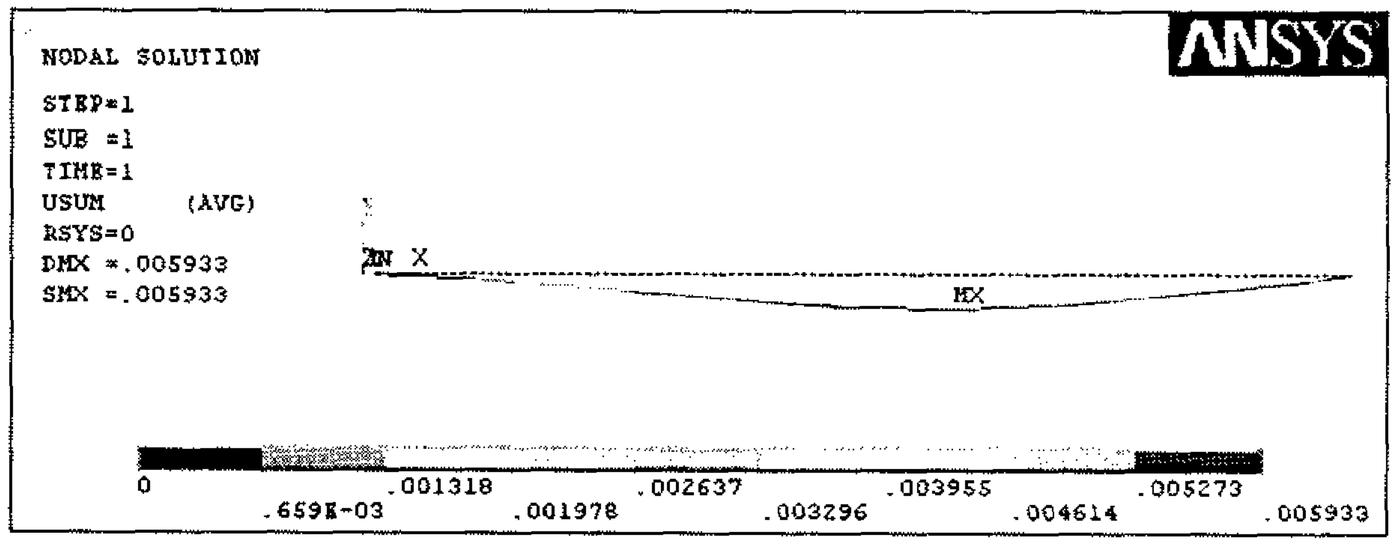


Hình 3.119. *Gán tải trọng phân bố đều p vào nút*

- *Gán tải trọng tập trung P*: Solution > Define Load > Apply > Structural > Force/Moment > Nhấn chuột vào điểm 2 > Apply > Apply F/M on KPs > Chọn FY, nhập giá trị của lực VALUE = -100 > OK.

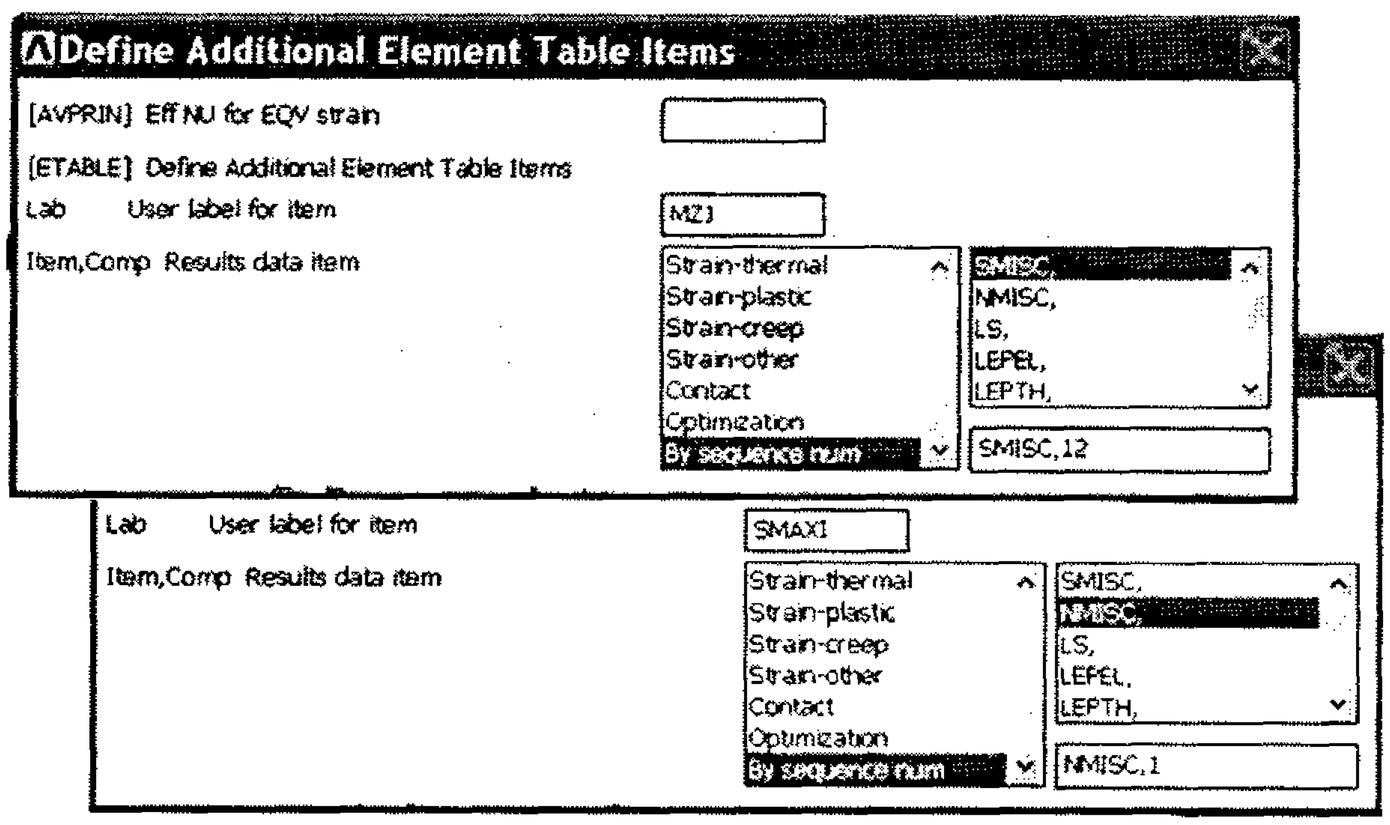
- *Chạy chương trình:* Solution > Solve > Currunt LS > Thông báo bài toán đã giải xong Solution is done > Close.

- *Chuyển vị toàn phần*: General Postproc > Plot Results > Nodal Solution > Contour Nodal Solution Data > Nodal Solution > Displacement Vector SUM > OK > Hình dạng biến dạng của dầm cho ở hình 3.120 và cho biết chuyển vị toàn phần lớn nhất DMX=0.005933m.

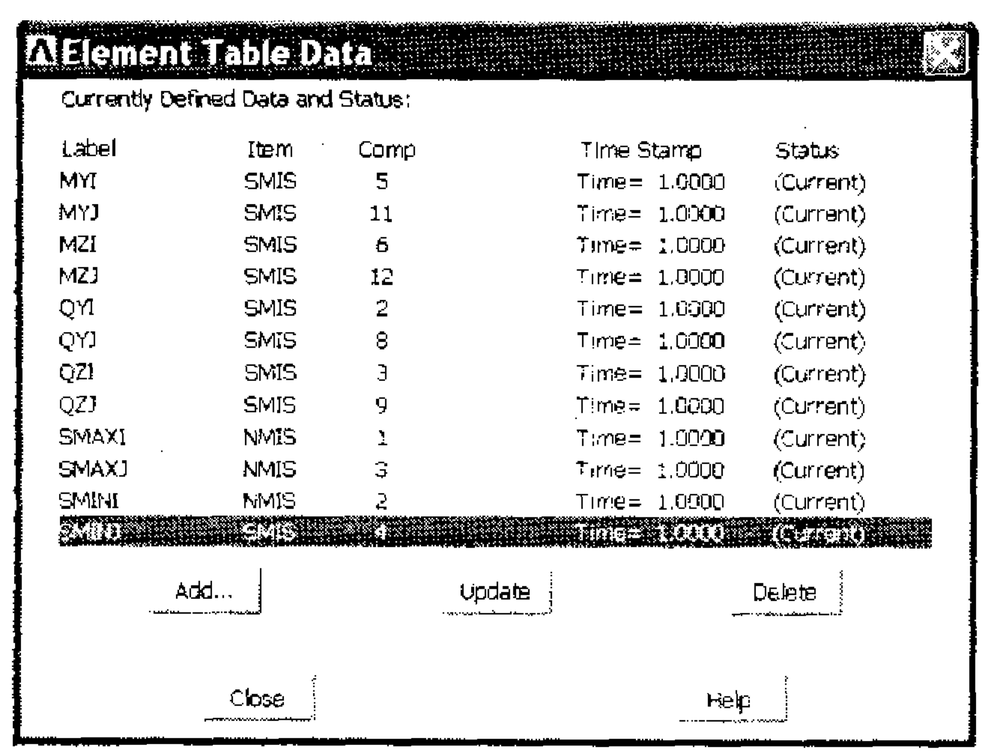


Hình 3.120. *Hình dạng biến dạng của dầm*

- *Định nghĩa mã nội lực và ứng suất:* General Postprocessor > Element Table > Define Table > Element Table Data > Add > Define Additional Element Table Items > Nhập mã nội lực MYI, MYJ, MZI, MZJ,..., SMAXI, SMAXJ, SMINI, SMINJ như ở hình 3.121 và 3.122:

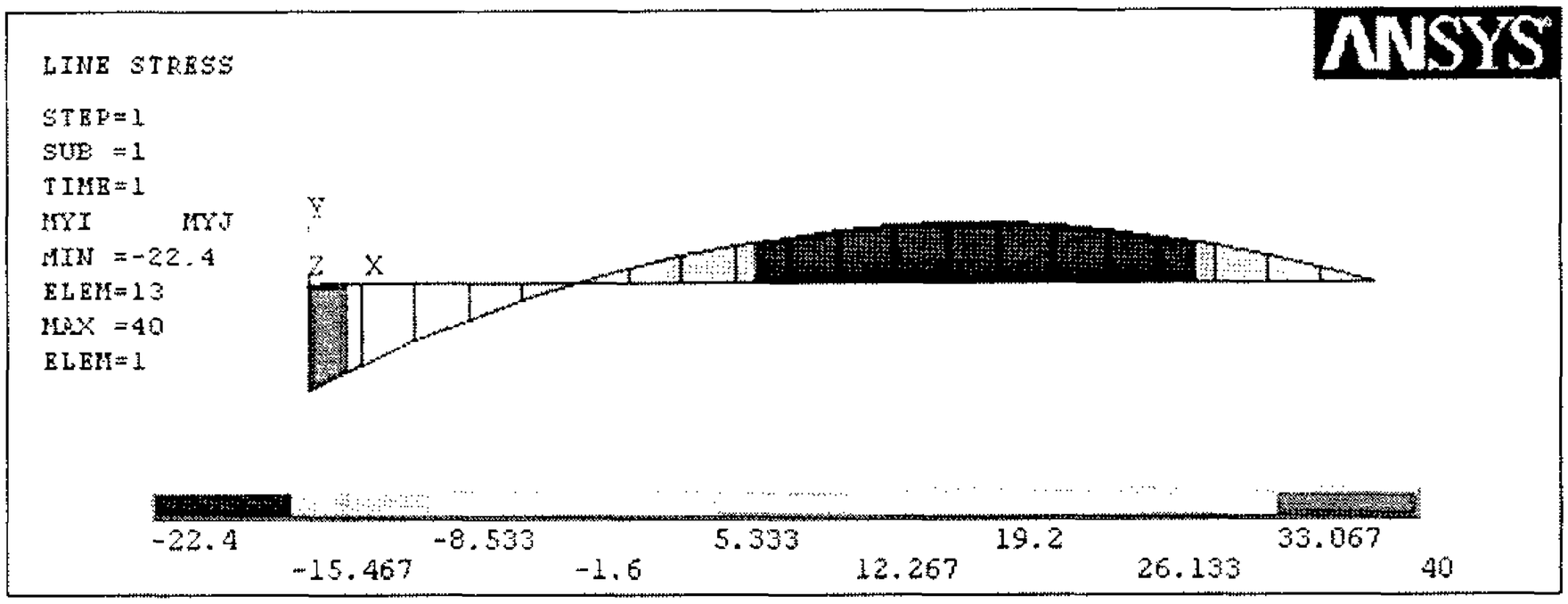


Hình 3.121. *Định nghĩa mã nội lực và ứng suất của phần tử*

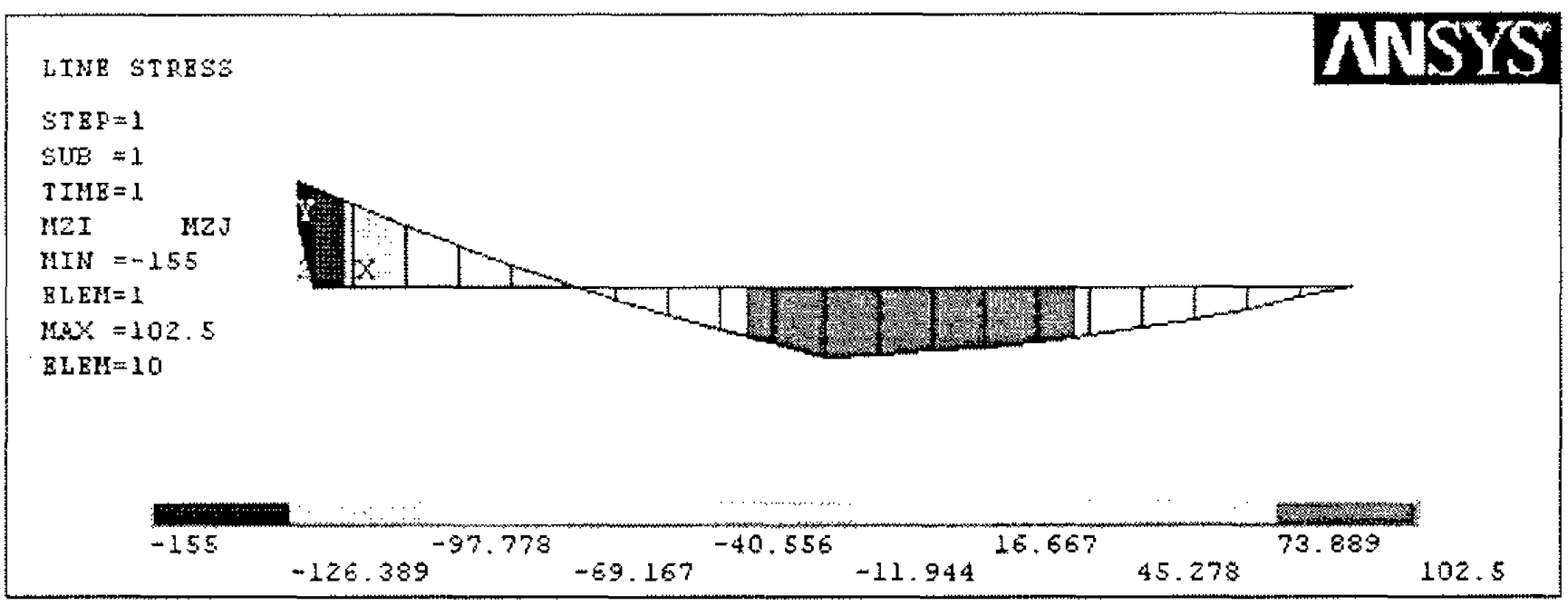


Hình 3.122. *Bảng mã nội lực và ứng suất*

- *Hiển thị biểu đồ mômen uốn My và lực cắt Qz:* General Postprocessor > Plot Result > Contour Plot > Line Element Result > Plot Line-Element Results > Chọn mã nội lực ở đầu I là MYI, mã đầu J là MYJ > OK, ta có biểu đồ mômen uốn My cho ở hình 3.123, tương tự có biểu đồ lực cắt Qz cho ở hình 3.124. Biểu đồ mômen uốn Mz và lực cắt Qy cũng thực hiện tương tự.



***Hình 3.123**. Biểu đồ mômen uốn My*



***Hình 3.124**. Biểu đồ mômen uốn Mz*

- Kết quả tính toán:

Chuyển vị toàn phần: DMX = 0.006933m

Mômen uốn MY: MAX = 40kNm; MIN = -22.4kNm

Mômen uốn MZ: MAX = 102.4kNm; MIN = -155kNm

Lực cắt QY: MAX = 91.25kN, MIN = -168.75kNm

Lực cắt QZ: MAX= 30kN; MIN = -59kN

2. Phương thức APDL

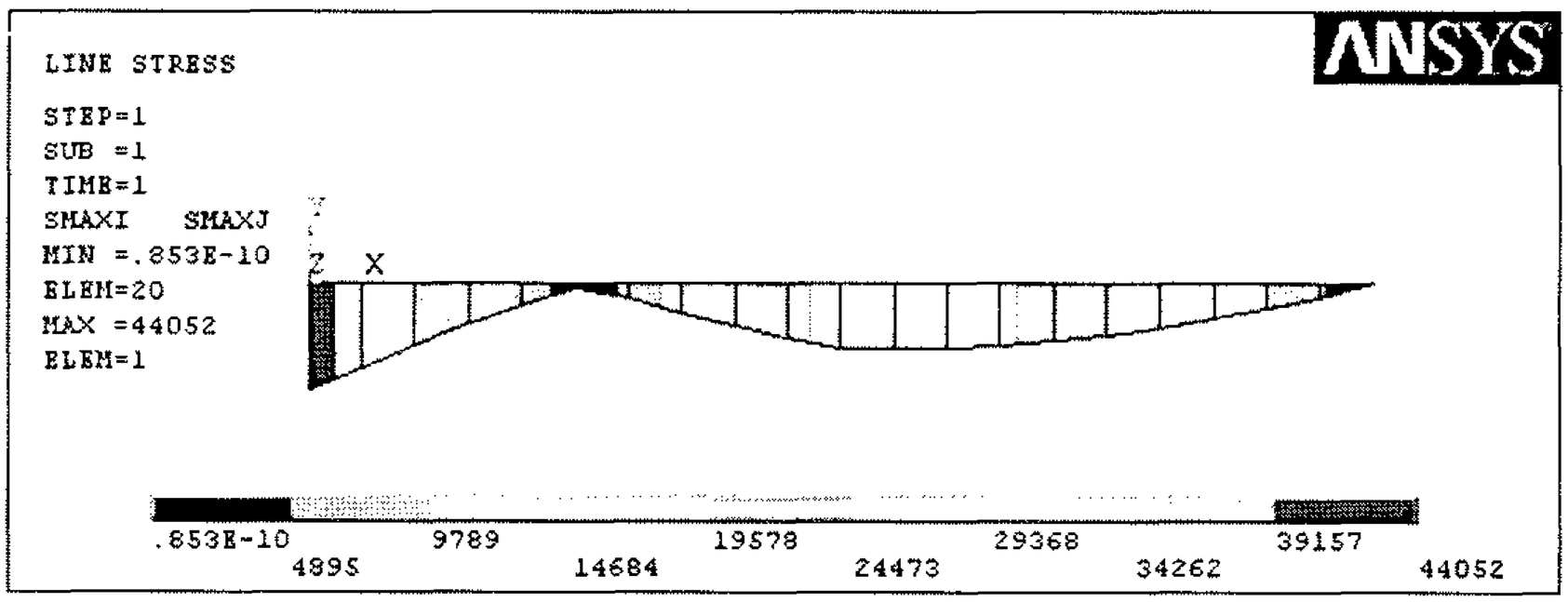
Các câu lệnh được soạn thảo trong Notepad với tên file Vi du 3.9-Dam UX trong thư mục ZBT-ANSYS (3) và đọc vào phần mềm ANSYS qua Read Input from > Vidu 3.9-Dam UX.txt > OK.

Vidu.3.9-Dam UX - Notepad

File Edit Format View Help

```
/TITLE, vi du 3.9 - Dam uon xien
/PREP7
ET,1,BEAM4
R,1,0.08,1.067E-3,2.667E-4,0.2,0.4, , ,7.324E-4
MP,EX,1,2.4E+7
MP,PRXY,1,0.2
K,1,0,0,0
K,2,2,0,0
K,3,4,0,0
L,1,2
L,2,3
ESIZE,0,10
LMESH,ALL
ANTYPE,0
DK,1,ALL
DK,3,UY,0
DK,3,UZ,0
FK,2, FY, -100
SFBEAM,1:20,1,PRES,20
SFBEAM,1:20,2,PRES,40
/SOLU
SOLVE
/POST1
ETABLE,MYI,SMISC,5
ETABLE,MYJ,SMISC,11
ETABLE,MZI,SMISC,6
ETABLE,MZJ,SMISC,12
ETABLE,QYI,SMISC,2
ETABLE,QYJ,SMISC,8
ETABLE,QZI,SMISC,3
ETABLE,QZJ,SMISC,9
ETABLE,NI,SMISC,1
ETABLE,NJ,SMISC,7
ETABLE,SMAXI,NMISC,1
ETABLE,SMAXJ,NMISC,3
ETABLE,SMINI,NMISC,2
ETABLE,SMINJ,NMISC,4
FINISH
```

- *Hiển thị biểu đồ SMAX:* Chọn mã ứng suất SMAX trong Plot Line- Element Results ở đầu I là SMAXI với NMISC, 1 > Apply; mã đầu J là SMAXJ với NMISC,3 > OK, ta có biểu đồ ứng suất như ở hình 3.125.

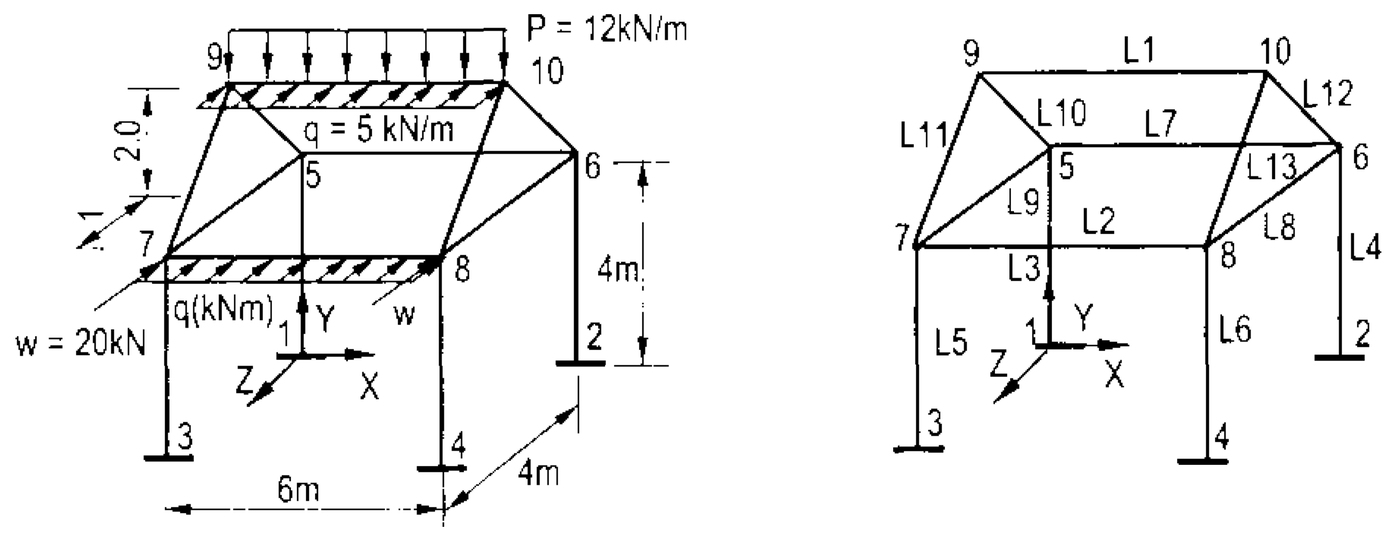


Hình 3.125. *Biểu đồ ứng suất SMAX*

• Ví dụ 3.10. Khung không gian 1T1N

Xác định chuyển vị và nội lực của khung không gian 1 tầng 1 nhịp, chân cột liên kết ngàm, có sơ đồ tính toán cho ở hình 3.126. Dầm và cột có A = 0.2×0.3m, $I_z = 4.5\times10^{4}m^{4}$, $I_y = 2\times10^{-4}m^{4}$, $I_x = 4.695\times10^{-4}m^{4}$.

Vật liệu có mô đun đàn hồi $E_x=E_y=E_z=2.8\times0^{7}kN/m^{2}$, $G_{xy}=G_{xz}= G_{yz}= 1.2\times10^{7}kN/m^{2}$.



Hình 3.126. *Sơ đồ tính toán, mã các điểm nút và đường*

1. Phương thức GUI

- *Đặt tên bài toán:* File > Change Title > Change Title: Vi du 3.9-Khung KG 1T1N > OK

- *Tạo 6 điểm 1, 2, 3, 4, 9, 10*: Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS > Xuất hiện bảng Create Keypoints in Active Coordinate System:

Nhập điểm 1 có tọa độ X=0, Y=0, Z=0 > Apply với hệ đơn vị chọn: kN, m

Nhập điểm 2 có tọa độ X=6, Y=0, Z=0 > Apply

Nhập điểm 3 có tọa độ X=0, Y=0, Z=4 > Apply

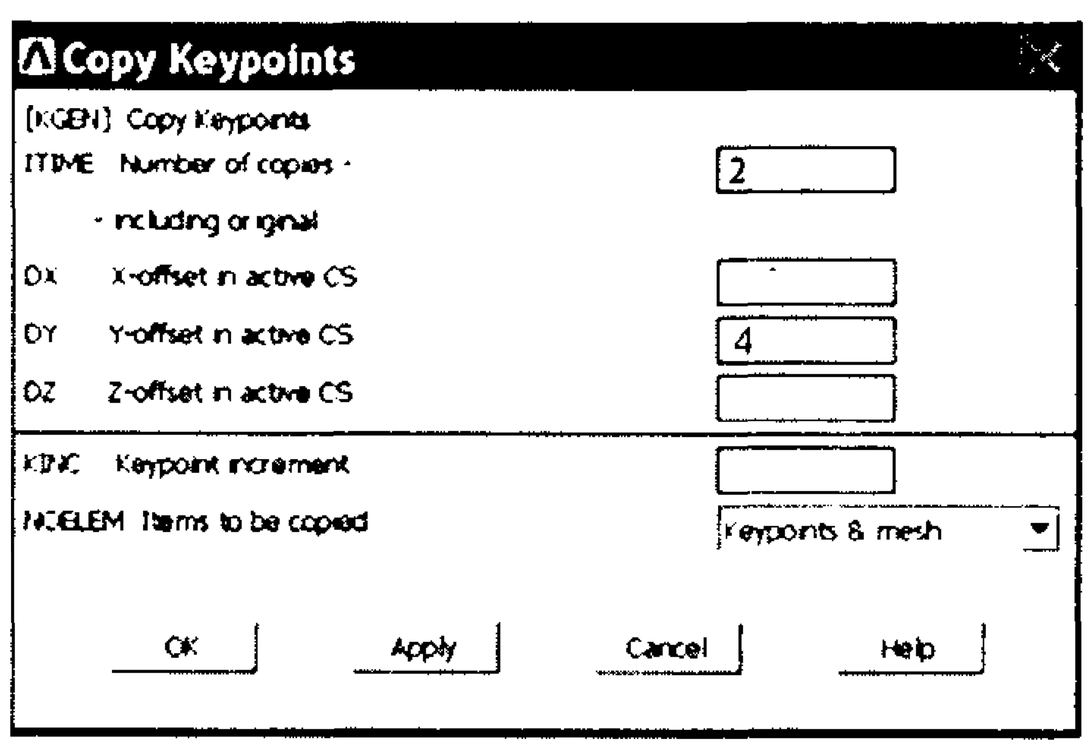
Nhập điểm 4 có tọa độ X=6, Y=0, Z=4 > Apply

Nhập điểm 9 có tọa độ X=0, Y=6, Z=2 > Apply

Nhập điểm 10 có tọa độ X=6, Y=6, Z=2 > OK

- *Hiển thị hình không gian*: Chuyển hình vẽ các điểm sang chế độ hiển thị không gian Isotropic bằng cách nhấn chuột vào nút hoặc chọn trên thanh công cụ phía bên phải màn hình cho thuận tiện để thực hiện các chức năng tiếp theo.

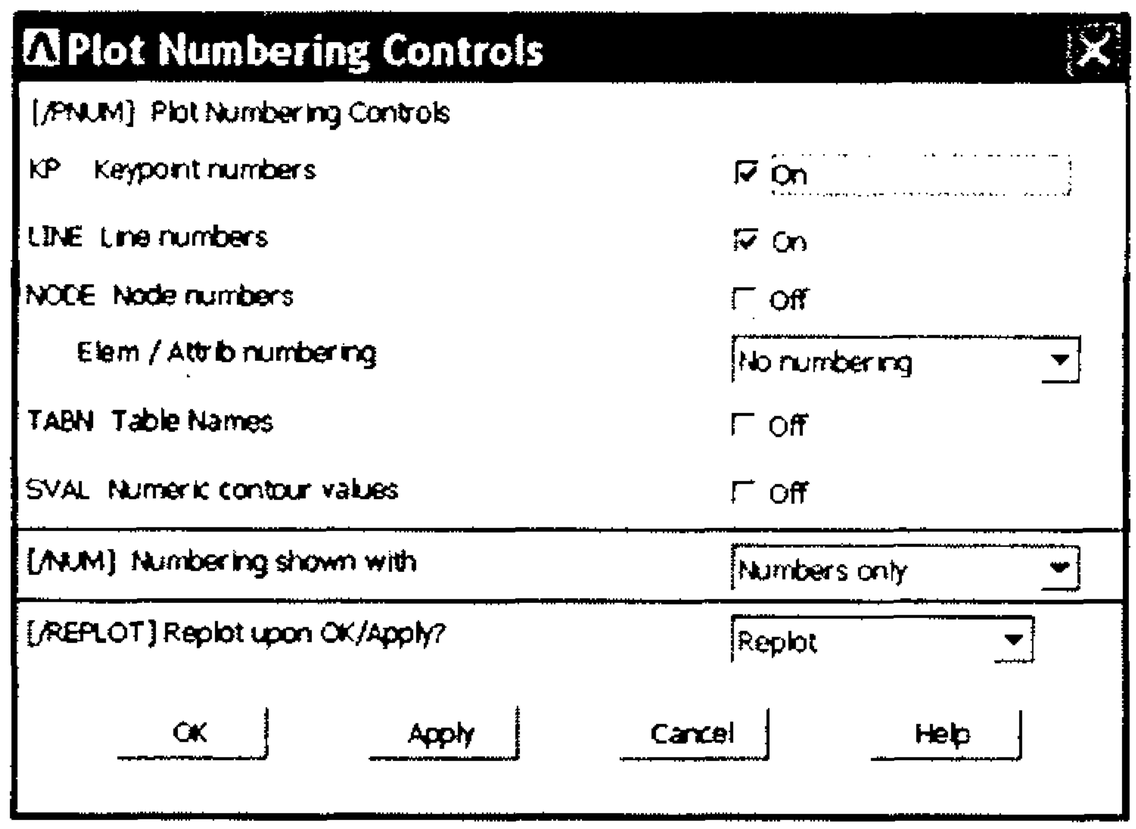
- *Tạo 4 điểm 5, 6, 7, 8 bằng chức năng Copy:* Preprocessor > Modeling > Copy > Keypoints > Dùng chuột chọn các điểm 1, 2, 3 và 4 > Apply > Xuất hiện bảng Copy Keypoints như ở hình 3.127. Nhập số lần Copy (kể cả đối tượng copy) ITIME=2 và khoảng cách giữa các điểm theo phương Y là DY=6 > OK, ta có các điểm 5, 6, 7, 8.



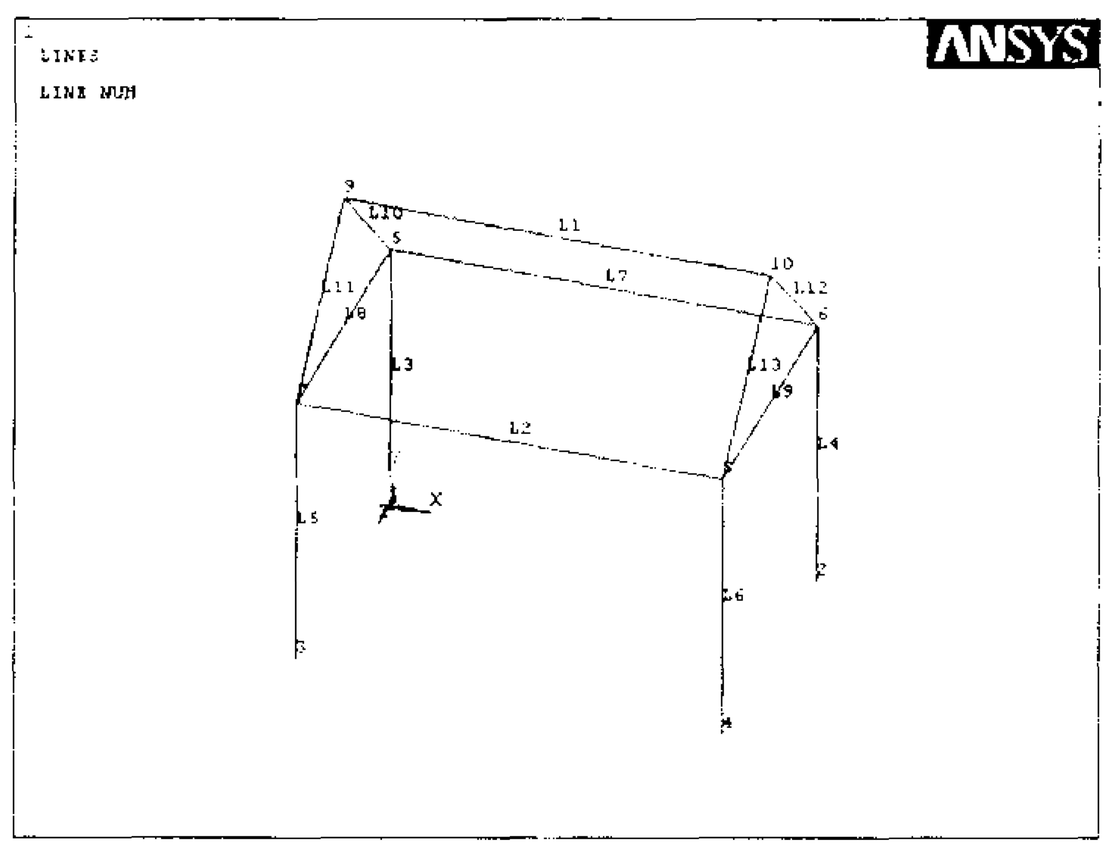
Hình 3.127. *Lệnh Copy điểm theo phương Y*

- *Vẽ các thanh của khung*: Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Straight Line > Nhấn chuột lần lượt vào các điểm theo thứ tự sau 9-10, 7-8, 1-5, 2-6, 3-7, 4-8, 5-6, 6-8, 5-7, 5-9, 9-7, 6-10 và 10-8, ta có kết cấu khung không gian 1 tầng 1 nhịp như ở hình 3.129 với các mã nút và đường theo thứ tự các thao tác ở trên.

- *Hiển thị mã các điểm và mã các đường của khung:* Utility Menu > Plot Contrls > Numbering > Xuất hiện bảng Plot Numbering Ctrls như ở hình 3.128 > Chọn KP Keypoint Numbers ☑ On, LINE Line Numbers ☑ On và [/NUM] Numbering shown with: [Numbers only], ta có kết cấu khung, mã các điểm và đường như ở hình 3.129.



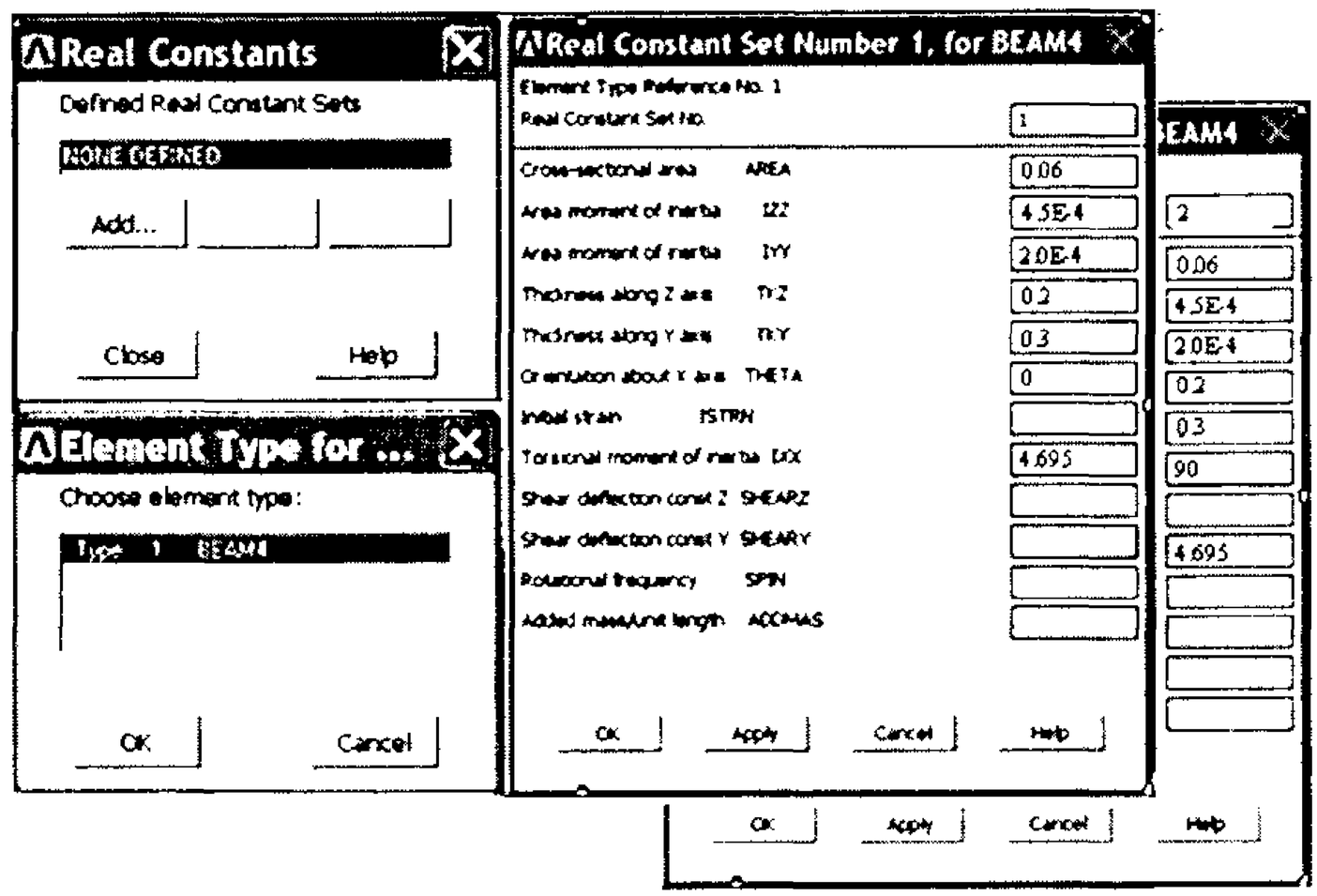
Hình 3.128. *Lệnh hiển thị mã điểm và đường của khung*



Hình 3.129. *Kết cấu khung, mã điểm và đường*

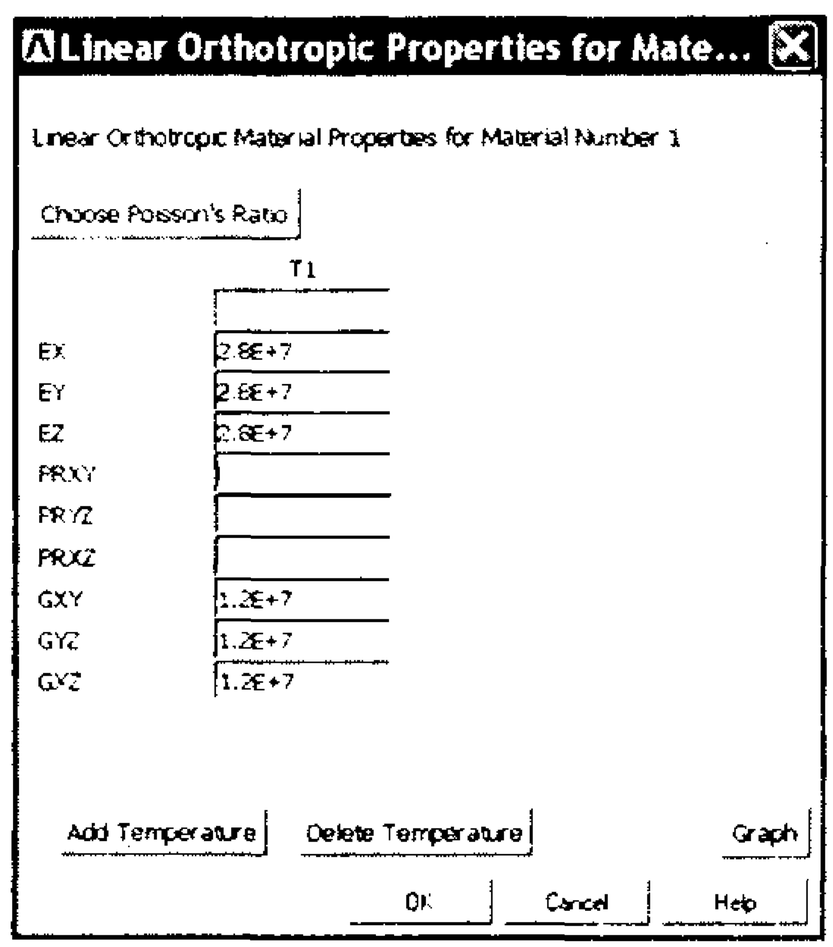
- *Chọn loại phần tử BEAM4*: Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Element Type > Add > Library of Element Types > Add > Chọn Beam > 3D elastic 4 > OK > Close.

- *Định nghĩa hằng số thực*: Preprocessor > Real Constants > Add > Real Constant.Set No: 1, for BEAM4 > Nhập AREA=0.06, IZZ4.5E-4, IYY=2.0E-4, TKZ=0.2, TKY=0.3, THETA=0, IXX=4.695E-4 cho dầm và Real Constant.Set No:2 với THETA=90 cho cột như ở hình 3.130 > OK > Close.



Hình 3.130. *Nhập hằng số thực của tiết diện dầm và cột*

- *Gán thuộc tính cho vật liệu*: Preprocessor > Material Props > Material Model > Xuất hiện bảng Define Material Model Behavior > Nhấn Structural > Linear > Elastic > Orthotropic. Xuất hiện bảng Linear Orthotropic Properties for Material như hình 3.131 > Nhập EX = EY = EZ = 2.8×10^{7}, GXY = GYZ = GXZ = 1.2E+7 > Nhấn OK > Material > Exit.



Hình 3.131. *Gán thuộc tính của vật liệu*

- *Chọn kích thước lưới:* Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > Manual Size > Lines > All Lines > Xuất hiện bảng Element Sizes on All Selected Lines > Nhập số đoạn chia cho một phần tố dầm và cột NDIV = 10 > OK.

- *Chia lưới phần tử:* Preprocessor > Meshing > Mesh > Lines > Pick All.

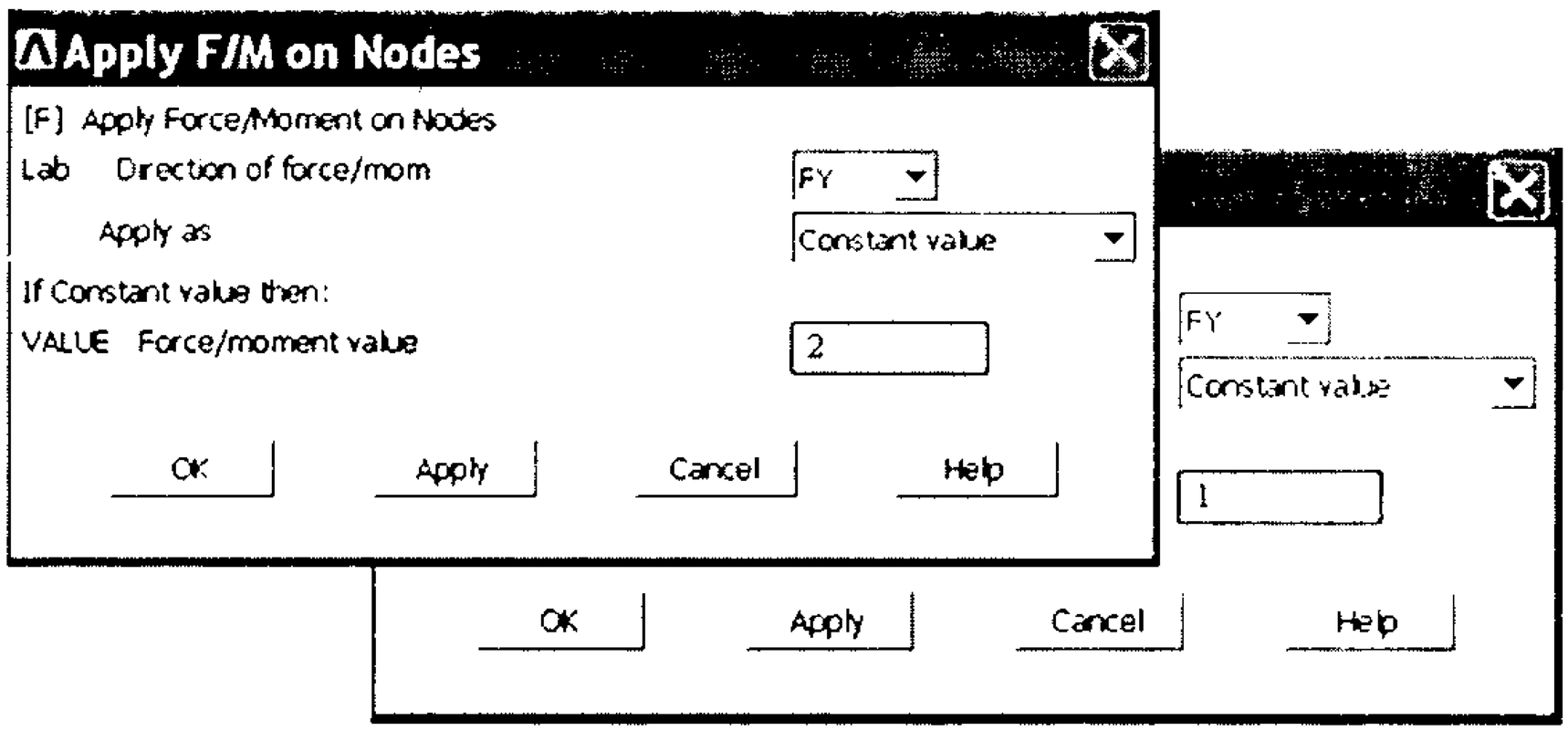
- *Chọn kiểu phân tích*: Solution > Analysis Type > New Analysis > Xuất hiện bảng New Analysis > Chọn ⊙ Static > OK.

- *Gán liên kết*: Solution > Define Loads > Apply > Displacement > On Keypoints > Chọn điểm 1, 2, 3 và 4 ở chân các cột > OK > Apply U, ROT on KPs > Chọn All DOF > Nhập giá trị chuyển vị VALUE = 0 > OK.

- *Gán tải trọng tập trung*: Solution > Define Load > Apply > Structural > Force/Moment > Nhấn chuột vào điểm 7 và 8 > Apply > Apply F/M on KPs > Chọn FZ, nhập giá trị của lực VALUE = -20 > OK.

- *Gán tải trọng phân bố đều q*: Solution > Define Load > Apply > Structural > Pressure > Nhấn chuột vào tất ca các phần tử từ 1 đến 20 thuộc các thanh L1 và L2 chịu tải trọng phân bố đều q > Apply > Apply PRES on Beams > Nhập Pressure Value at I VALI = 5 > OK.

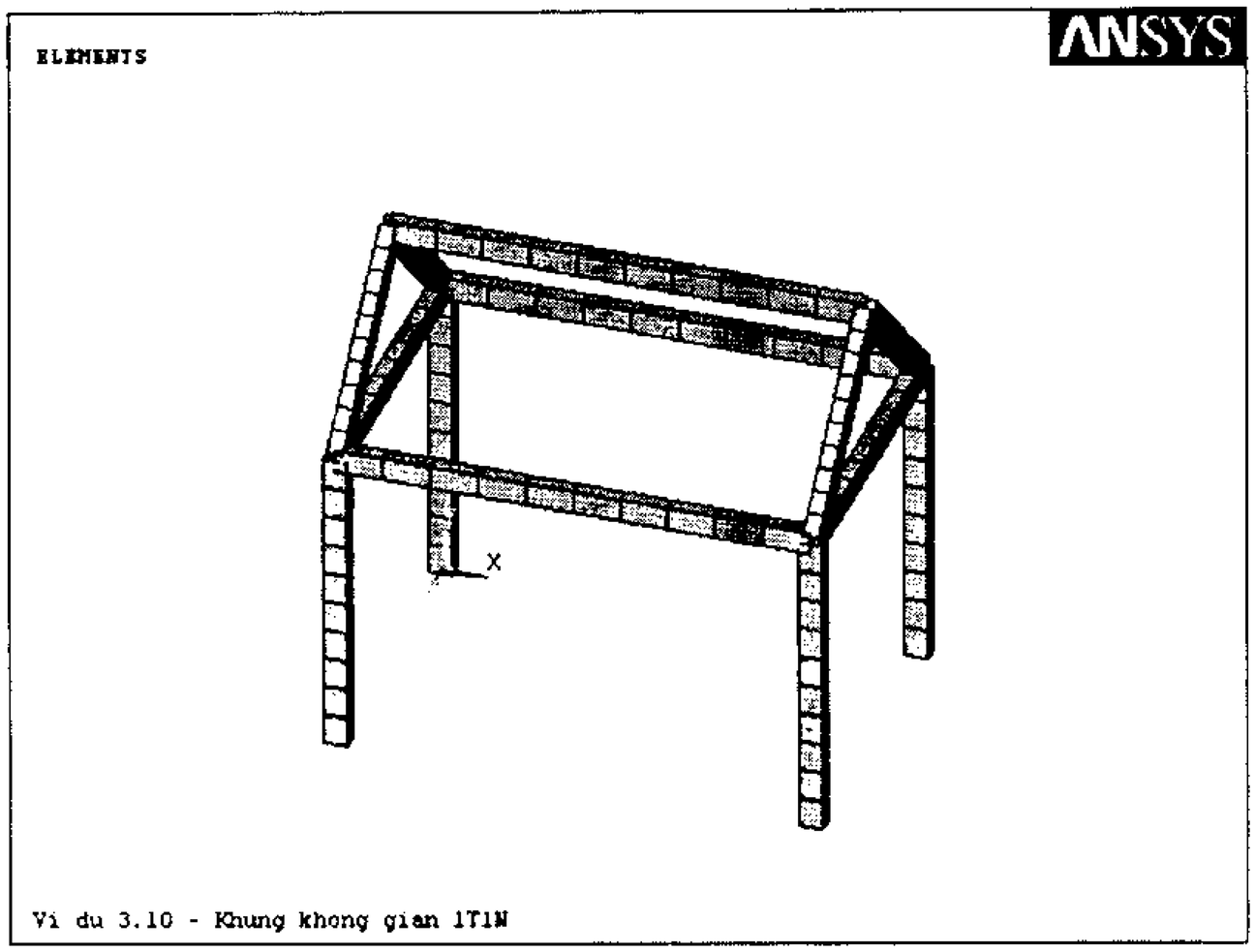
- *Gán tải trọng phân bố đều p:* Tải trọng phân bố được gán vào nút (Node) cua thanh L1 dưới dạng lực tập trung như sau > Solution > Define Load > Apply > Structural > Force/Moment > Nhấn chuột *vào tất cả các nút (Nodes) thuộc thanh L1 (trừ nút hai đầu thanh) > Apply > Apply F/M on* Nodes > Chọn FY và nhập VALUE = -2 > Apply > Chọn nút 9 và 10 ở hai đầu thanh > Nhập VALUE = -1 như ở hình 3.132 > OK.



Hình 3.132. *Gán tải trọng phân bố đều p vào nút*

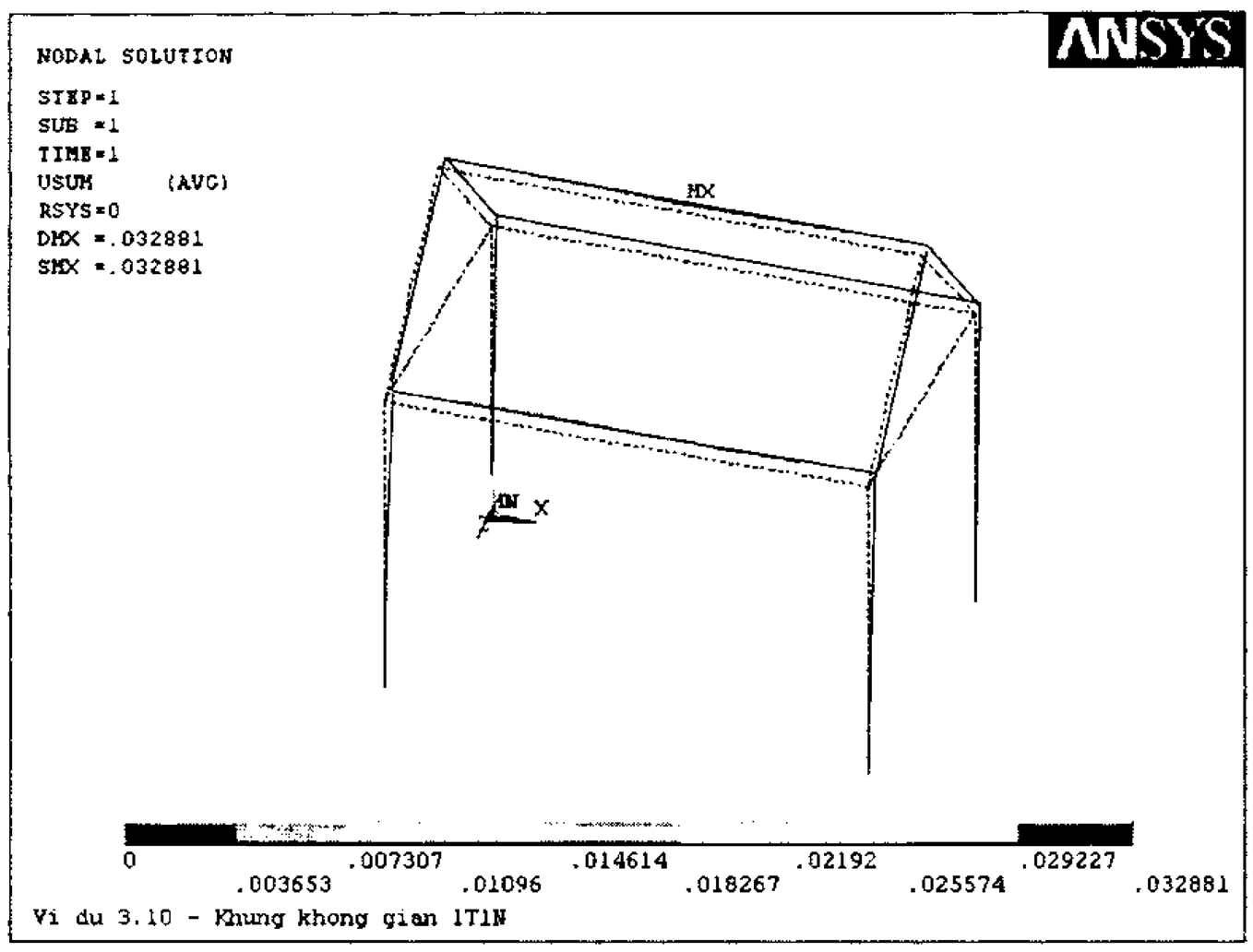
- *Chạy chương trình:* Solution > Solve > Currunt LS > Solution is done > Close.

- *Hiển thị khung theo bài toán không gian:* Utility Menu > PlotControls > Style > Size and Shape > Display of Element ☑ On > OK, ta có kết cấu khung như ở hình 3.133.



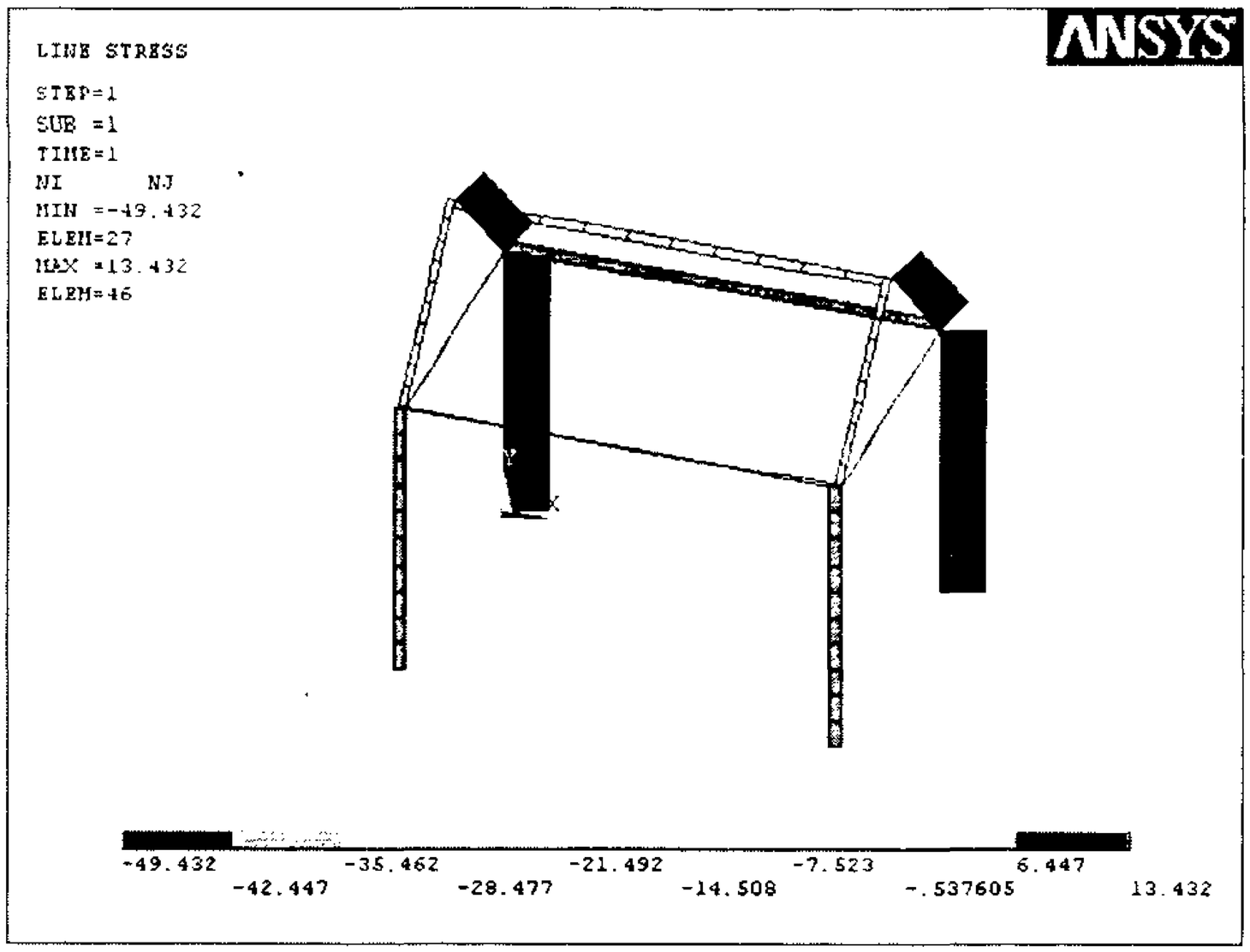
Hình 3.133. *Hiển thị hình dạng không gian của khung*

- *Chuyển vị của khung:* General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Nodal Solution > Contour Nodal Solution Data > Nodal Solution > DOF Solution > Displacement Vector SUM > Ta có hình dạng biến dạng của khung cho ở hình 3.134, phía trái góc trên hình vẽ thông báo chuyển vị toàn phần lớn nhất là DMX = 0,032881m.



Hình 3.134. *Hình dạng biến dạng của khung*

- *Hiển thị biểu đồ lực dọc:* General Postprocessor > Plot Result > Contour Plot > Line Element Result > Xuất hiện bảng Plot Line- Element Results > Chọn mã lực dọc ở nút I là NI và nút J là NJ > OK, ta có biểu đồ lực dọc như ở hình 3.135.



Hình 3.135. *Biểu đồ lực dọc*

2. Phương thức APDL

Các câu lệnh được soạn thảo trong Word như sau:

```
/TITLE, Vidu 3.10-Khung khong gian 1T1N
/PREP7
ET,1,BEAM4
R,1,0.06,4.5E-4,2E-4,0.2,0.3,,,4.695E-4
R,2,0.06,4.5E-4,2E-4,0.2,0.3,90,,4.695E-4
MP,EX,1,2.8E+7
MP,EY,1,2.8E+7
MP,EZ,1,2.8E+7
MP,GXY,1,1.2E+7
MP,GYZ,1,1.2E+7
MP,GXZ,1,1.2E+7
K,1,0,0,0
K,2,6,0,0
K,3,0,0,4
K,4,6,0,4
K,9,0,6,2
K,10,6,6,2
KGEN,2,1,4,1,0,4
```

```
TYPE,1
MAT,1
REAL,1
L,9,10
L,7,8
L,1,5
L,3,7
L,2,6
L,4,8
L,5,6
L,5,7
L,6,8
ESIZE,0,10
LMESH,ALL
TYPE,1
MAT,1
REAL,2
L,5,9
L,9,7
L,6,10
L,10,8
ESIZE,0,10
LMESH,ALL
ANTYPE,0
DK,1,ALL
DK,2,ALL
DK,3,ALL
DK,4,ALL
FK,7,FZ,-20
FK,8,FZ,-20
SFBEAM,1:10,1,PRES,5
SFBEAM,1:10,2,PRES,12
SFBEAM,11:20,1,PRES,5
/SOLU
SOLVE
/POST1
ETABLE,MXI,SMISC,4
```

```
ETABLE,MXJ,SMISC,10
ETABLE,MYI,SMISC,5
ETABLE,MYJ,SMISC,11
ETABLE,MZI,SMISC,6
ETABLE,MZJ,SMISC,12
ETABLE,QYI,SMISC,2
ETABLE,QYJ,SMISC,8
ETABLE,QZI,SMISC,3
ETABLE,QZJ,SMISC,10
ETABLE,NI,SMISC,1
ETABLE,NJ,SMISC,7
FINISH
```

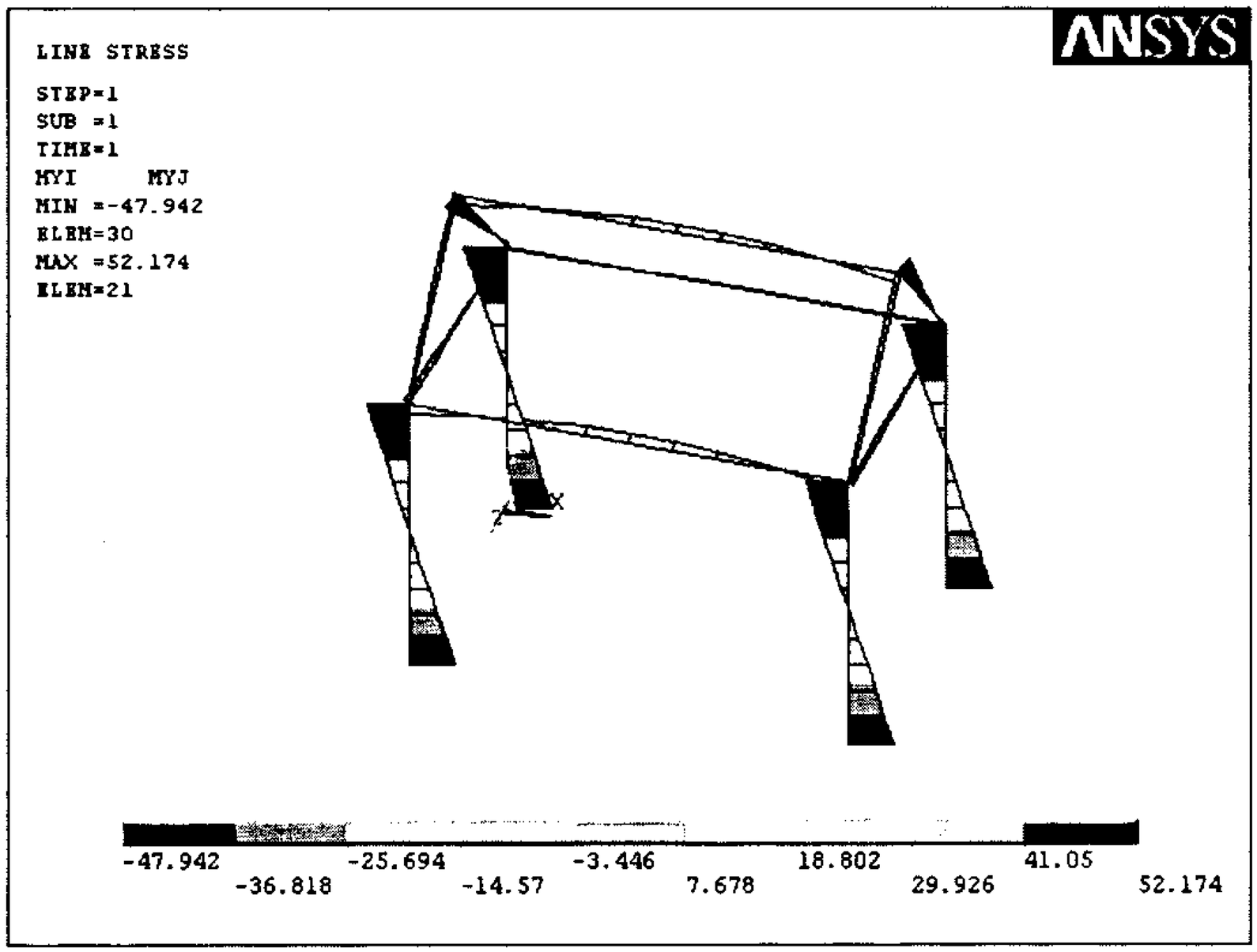
Copy các lệnh trên vào phần mềm Notpad với tên file Vi du 3.10-KKG 1T1N trong thư mục ZBT-ANSYS (3) và đọc vào phần mềm ANSYS qua Read Input from > Vi du 3.10-KKG 1T1N.txt > OK > Chương trình sẽ chạy, khi có thông báo Solution is done > Close.

Kết quả tính toán mômen uốn My và Mz cho ở các hình 3.136 và 3.137.

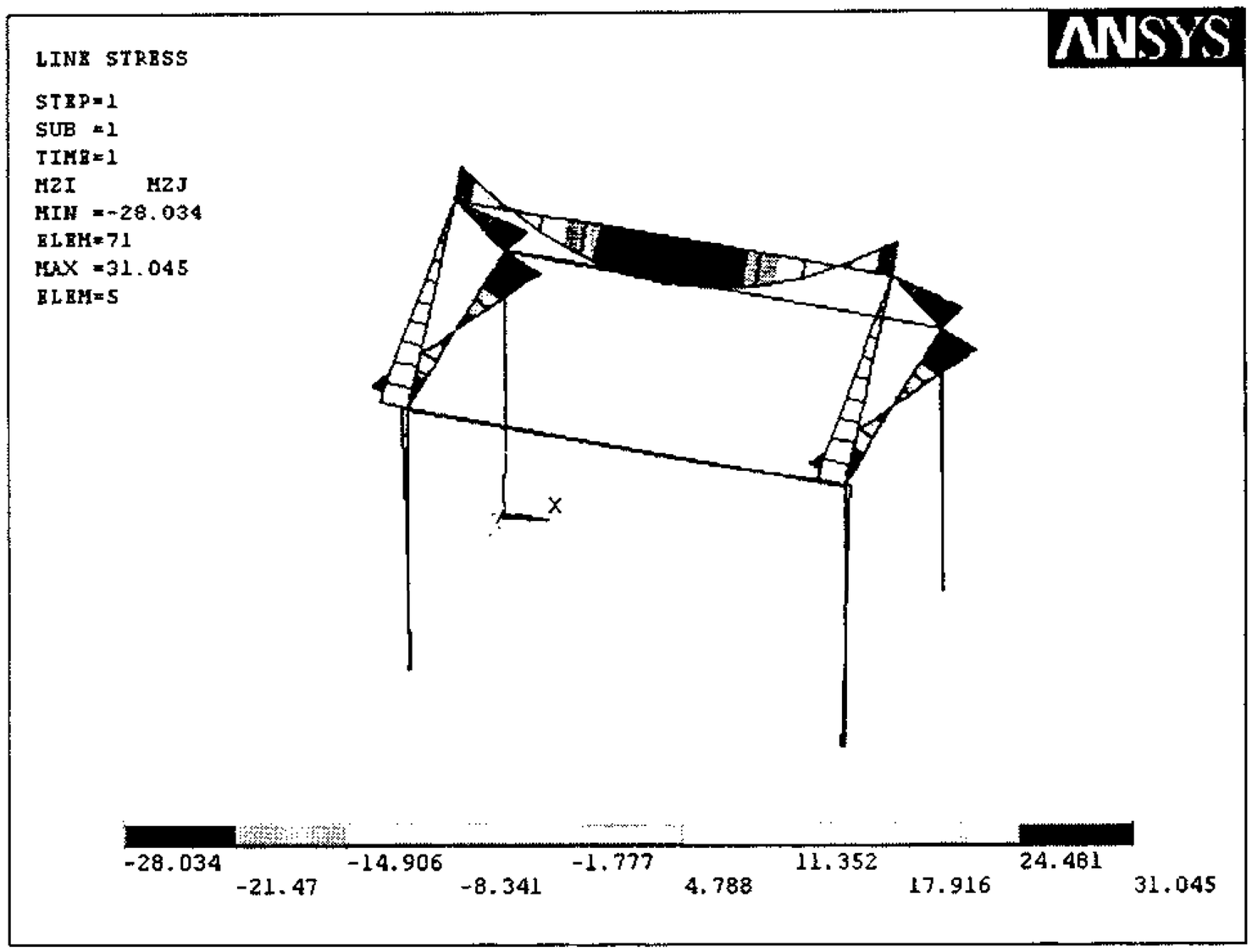
Lực dọc N: MAX=11.201kN; MIN=-26.716kN.

Mômen My: MAX=43.607kNm, MIN=-36.432kNm.

Mômen Mz: MAX=21.368kNm, MIN=-21.332.432kNm.



Hình 3.136. *Biểu đồ mômen uốn My*

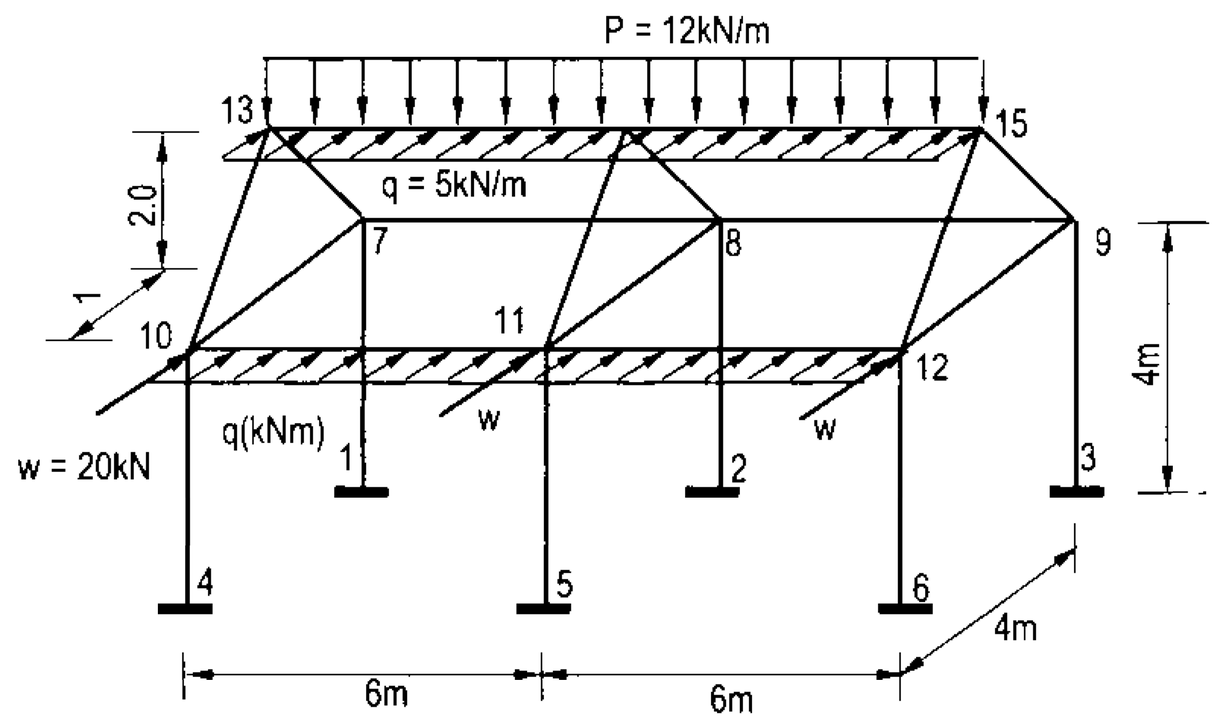


Hình 3.137. Biểu đồ mômen uốn Mz

• Ví dụ 3.11. Khung không gian 1T2N

Xác định chuyển vị và nội lực của khung không gian 1 tầng 2 nhịp, chân cột liên kết ngàm, có sơ đồ tính toán cho ở hình 3.138. Dầm và cột tiết diện chữ nhật có $A = 0.2\times0.3 = 0.06m^2$, $I_z = 4.5\times10^{-4}m^4$, $I_y = 2\times10^{-4}m^4$, $I_x = 4.695\times10^{-4}m^4$.

Vật liệu có mô đun đàn hồi $E_x = E_y = E_z = 2.8\times0^7kN/m^2$, $G_{xy}= G_{yz}= G_{zx}= 1.2\times10^7kN/m^2$.



Hình 3.138. Sơ đồ tính toán khung

Phương thức APDL

/TITLE, Vidu 3.11-Khung KG1T2N

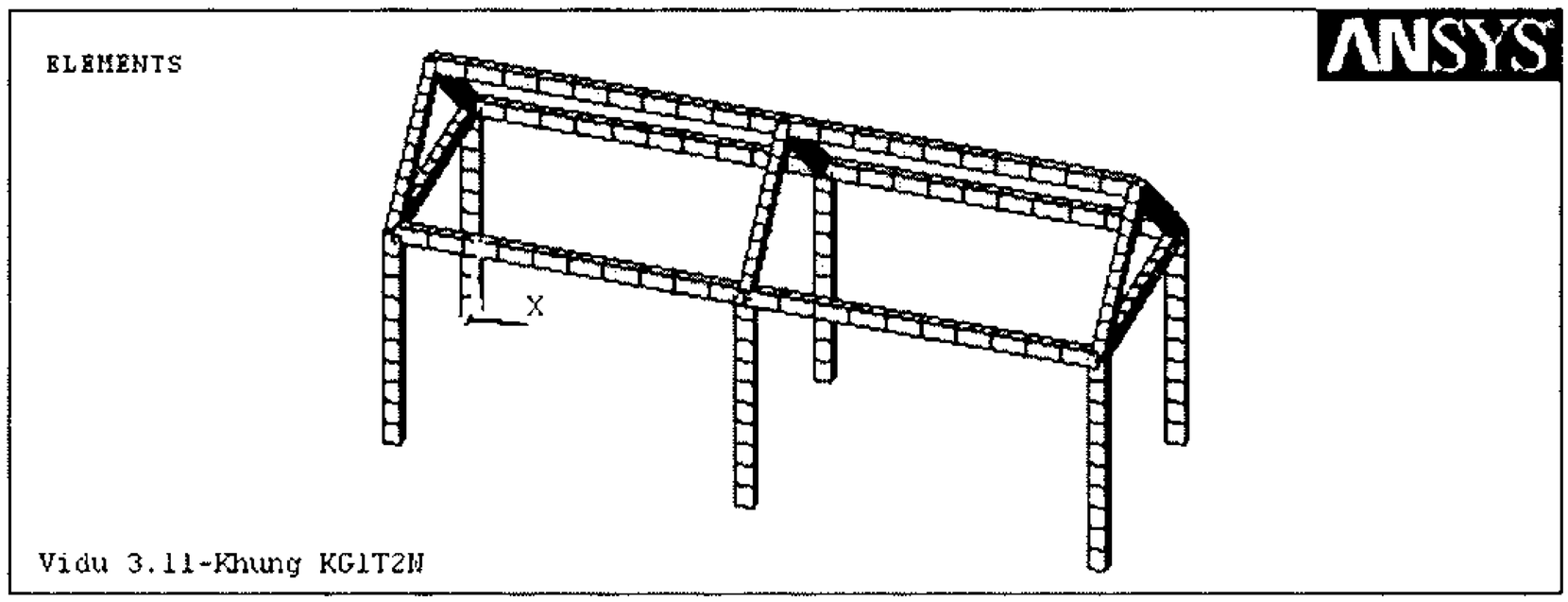
/PREP7

```
ET,1,BEAM4
R,1,0.06,4.5E-4,2.0E-4,0.2,0.3,,,4.695E-4
R,2,0.06,4.5E-4,2.0E-4,0.2,0.3,90,,4.695E-4
MP,EX,1,2.8E+7
MP,EY,1,2.8E+7
MP,EZ,1,2.8E+7
MP,GXY,1,1.2E+7
MP,GYZ,1,1.2E+7
MP,GZX,1,1.2E+7
K,1,0,0,0
K,2,6,0,0
K,3,12,0,0
KGEN,2,1,3,1,0,0,4
KGEN,2,1,6,1,0,4
K,13,0,6,2
K,14,6,6,2
K,15,12,6,2
TYPE,1
MAT,1
REAL,1
L,13,14
L,14,15
L,10,11
L,11,12
L,1,7
L,2,8
L,3,9
L,4,10
L,5,11
L,6,12
L,7,8
L,8,9
L,7,10
L,9,12
ESIZE,0,10
LMESH,ALL
TYPE,1
MAT,1
REAL,2
```

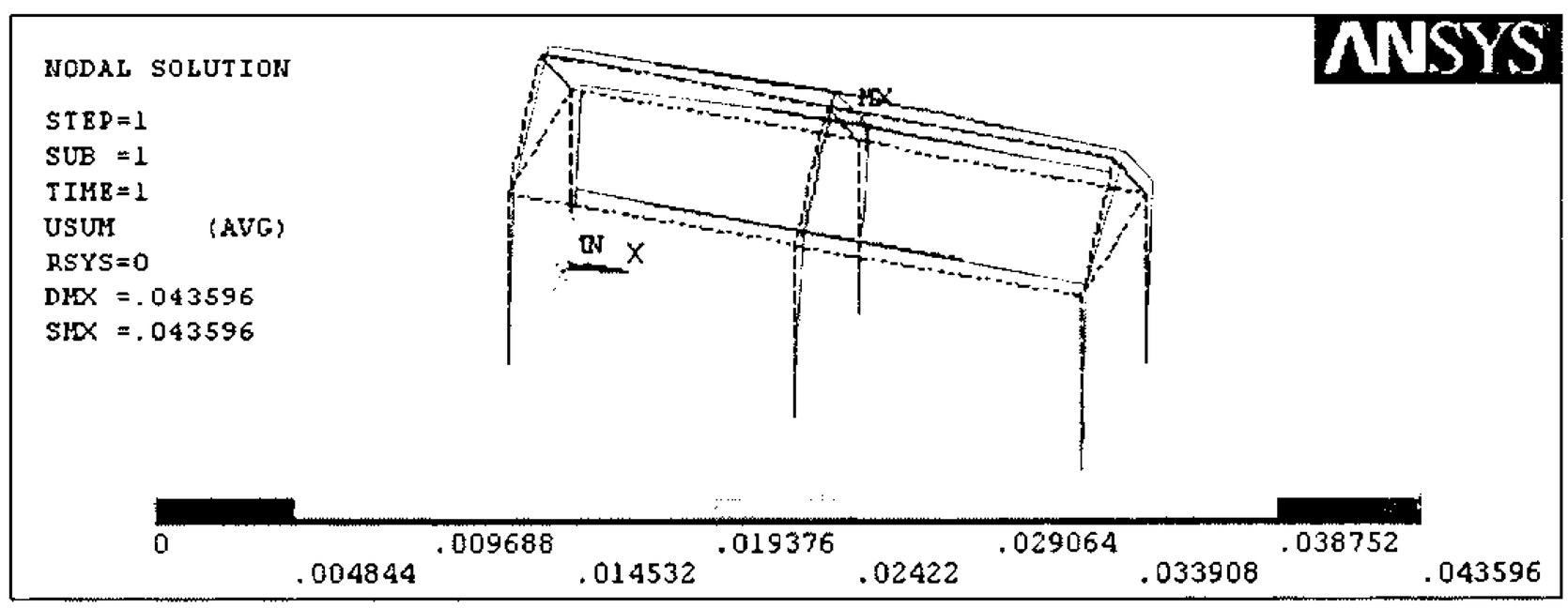
```
L,7,13
L,13,10
L,8,14
L,14,11
L,9,15
L,15,12
ESIZE,0,10
LMESH,ALL
ANTYPE,0
DK,1,ALL
DK,2,ALL
DK,3,ALL
DK,4,ALL
DK,5,ALL
DK,6,ALL
FK,10,FZ,-20
FK,11,FZ,-20
FK,12,FZ,-20
SFBEAM,1:20,1,PRES,5
SFBEAM,1:20,2,PRES,12
SFBEAM,21:40,1,PRES,5
/SOLU
SOLVE
/POST1
ETABLE,MYI,SMISC,5
ETABLE,MYJ,SMISC,11
ETABLE,MZI,SMISC,6
ETABLE,MZJ,SMISC,12
ETABLE,QYI,SMISC,2
ETABLE,QYJ,SMISC,8
ETABLE,QZI,SMISC,3
ETABLE,QZJ,SMISC,9
ETABLE,NI,SMISC,1
ETABLE,NJ,SMISC,7
ETABLE,SMAXI,NMISC,1
ETABLE,SMAXJ,NMISC,3
ETABLE,SMINI,NMISC,2
ETABLE,SMINJ,NMISC,4
FINISH
```

Copy các lệnh trên vào phần mềm Notpad với tên file Vi du 3.11-KKG 1T2N trong thư mục ZBT-ANSYS (3) và đọc vào phần mềm ANSYS qua Read input from > Vidu 3.11-KKG 1T2N.txt.

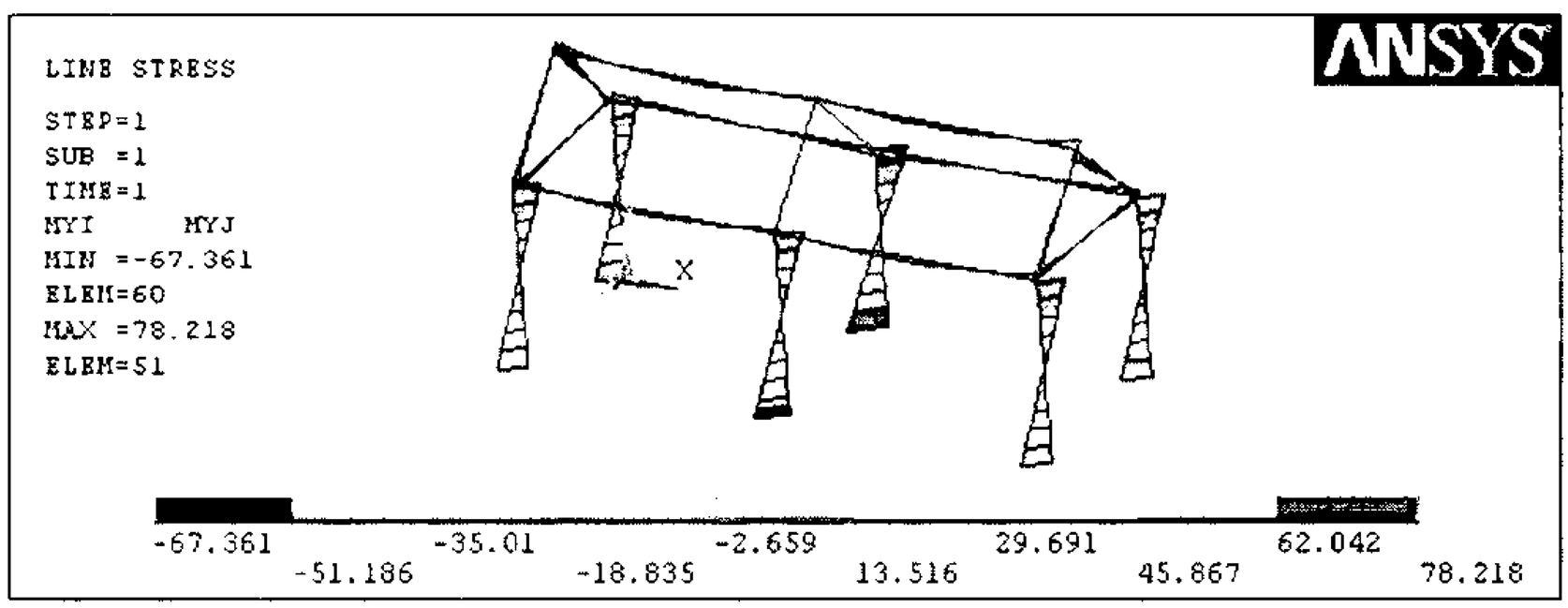
Kết quả tính toán: chuyển vị, nội lực và ứng suất được thể hiện ở các hình từ 3.139 đến 3.147 và bảng 3.17:



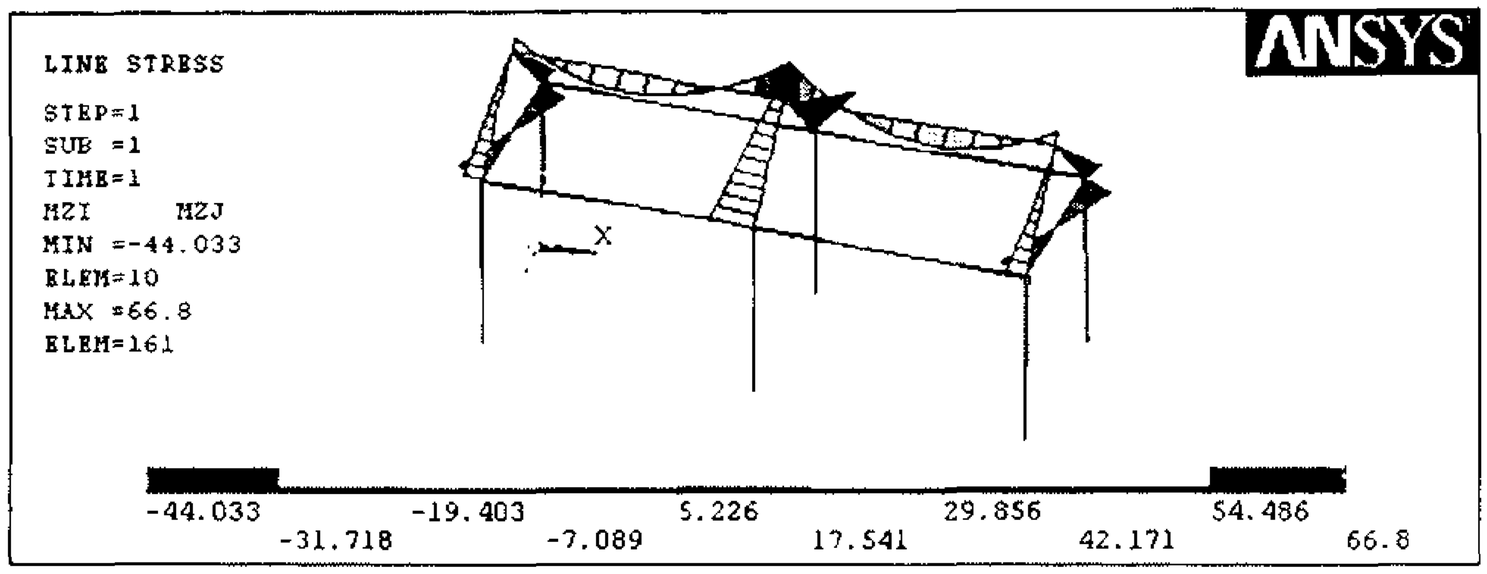
Hình 3.139. *Kết cấu khung*



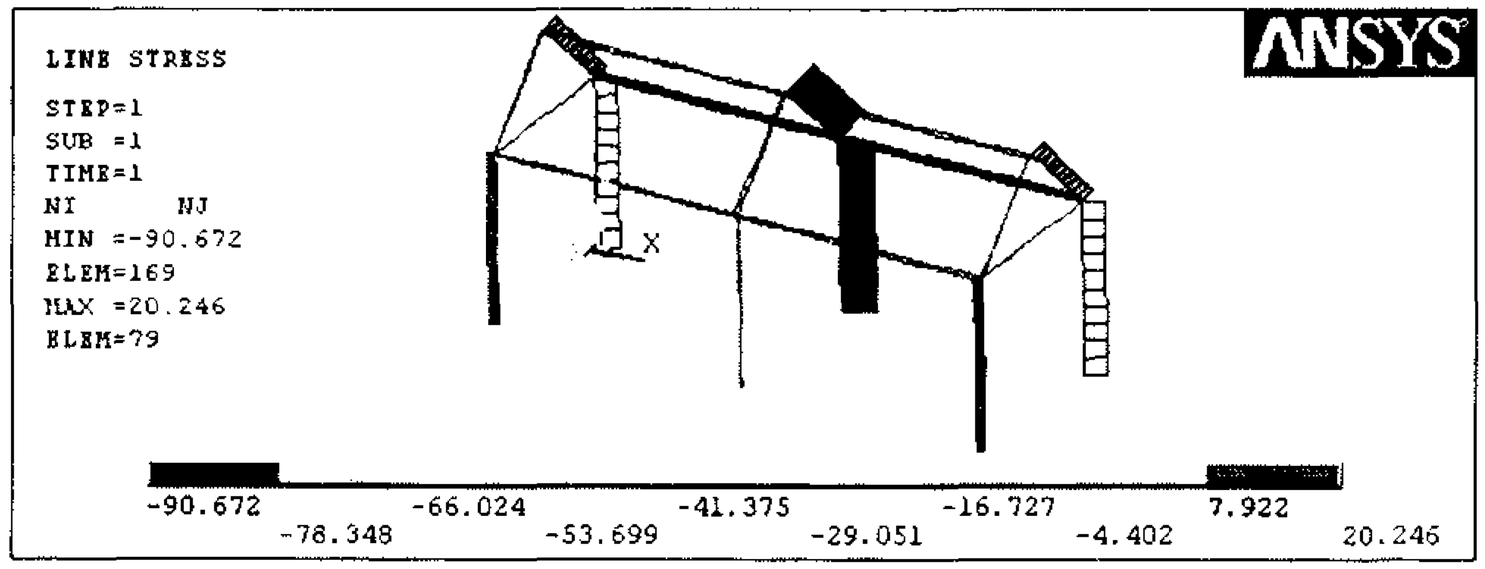
Hình 3.140. *Hình dạng biến dạng của khung*



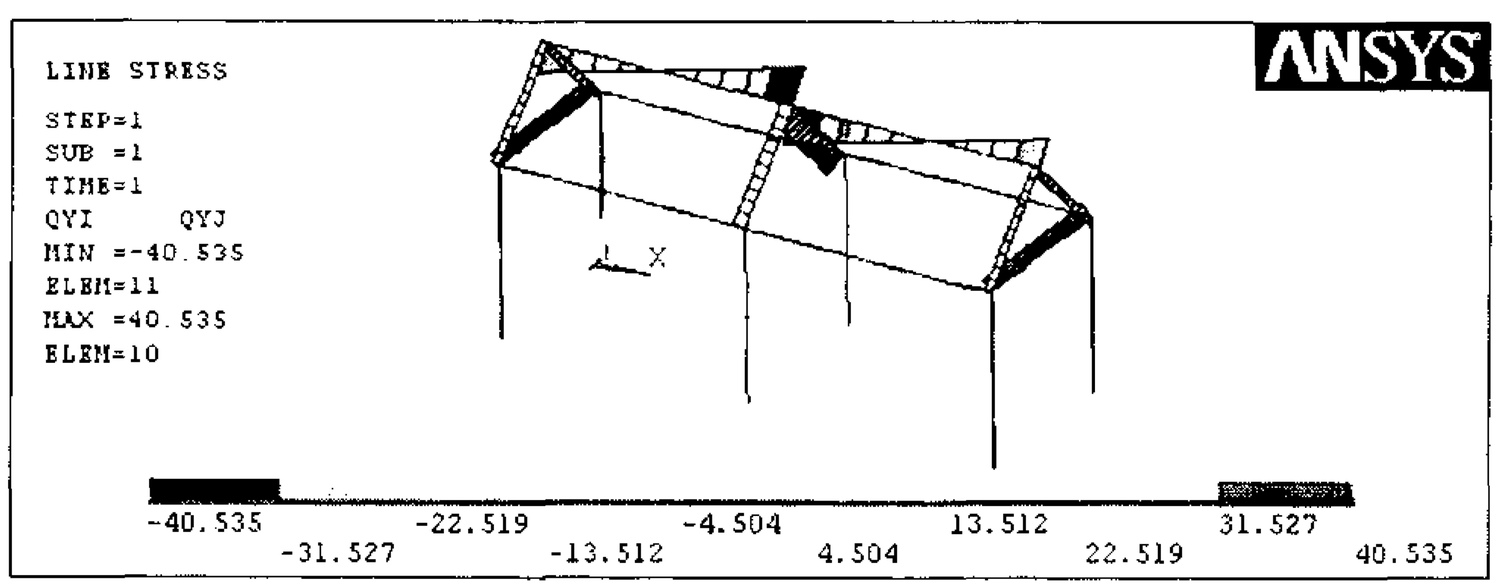
Hình 3.141. *Biểu đồ mômen uốn My*



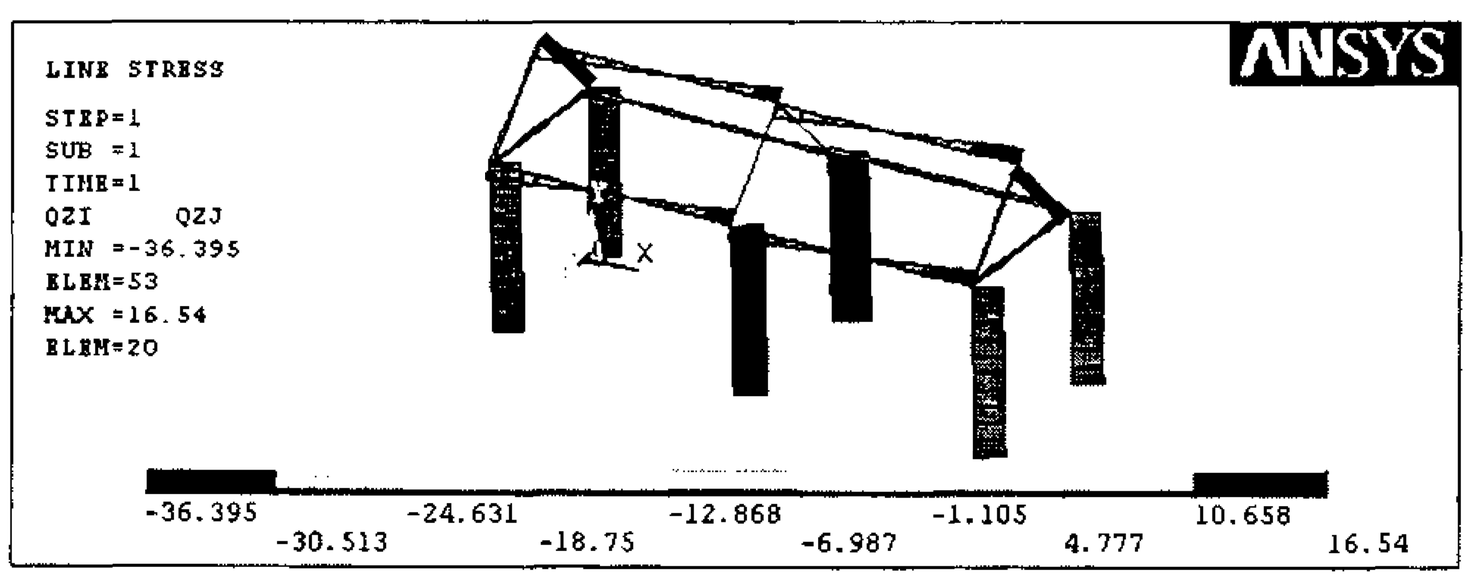
Hình 3.142. Biểu đồ mômen uốn Mz



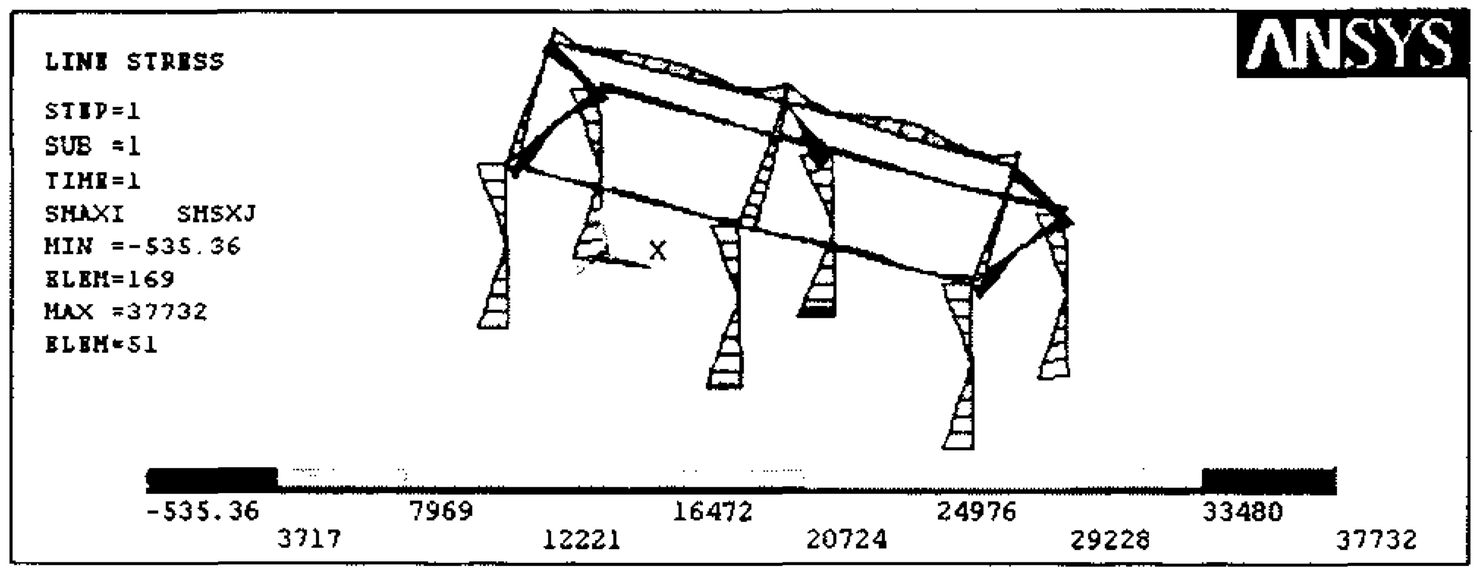
Hình 3.143. Biểu đồ lực dọc N



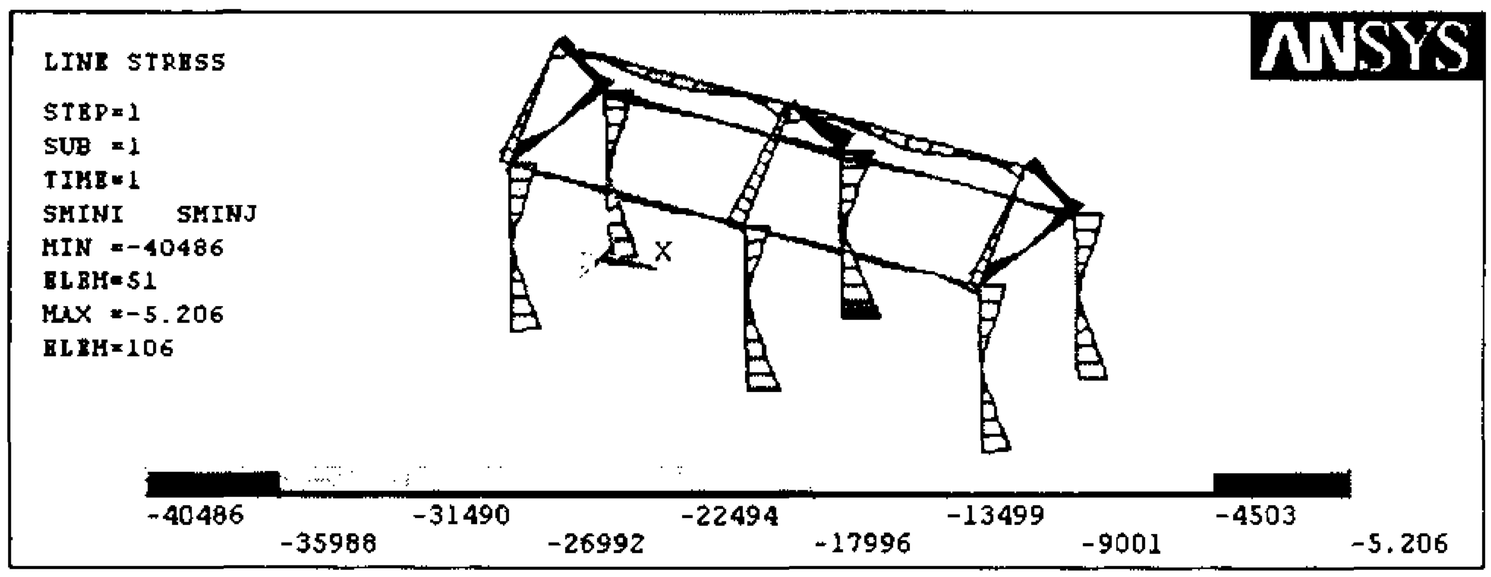
Hình 3.144. Biểu đồ lực cắt Qy



Hình 3.145. Biểu đồ lực cắt Qz



Hình 3.146. Biểu đồ ứng suất pháp SMAX



Hình 3.147. Biểu đồ ứng suất pháp SMIN

Chuyển vị USUM = 0.043596m.

Mômen My: MIN = -67.361kNm, MAX = 78.218kNm.

Mômen Mz: MIN = -44.033kNm, MAX = 66.8kNm.

Lực dọc N: MIN = -90.672KN; MIN = 20.246kN.

Lực cắt Qy: MIN = -40.535kN, MAX = 40.535kN

Lực cắt Qz: MIN = -36.395kNm, MAX = 16.54kNm.

Ứng suất SMAX: MIN = -535.36kN/m^2, MAX = 37732kN/m^2.

Ứng suất SMIN: MIN = -40486kN/m^2, MAX = -5.206kN/m^2.

Bảng 3.17. Giá trị nội lực MIN và MAX

File

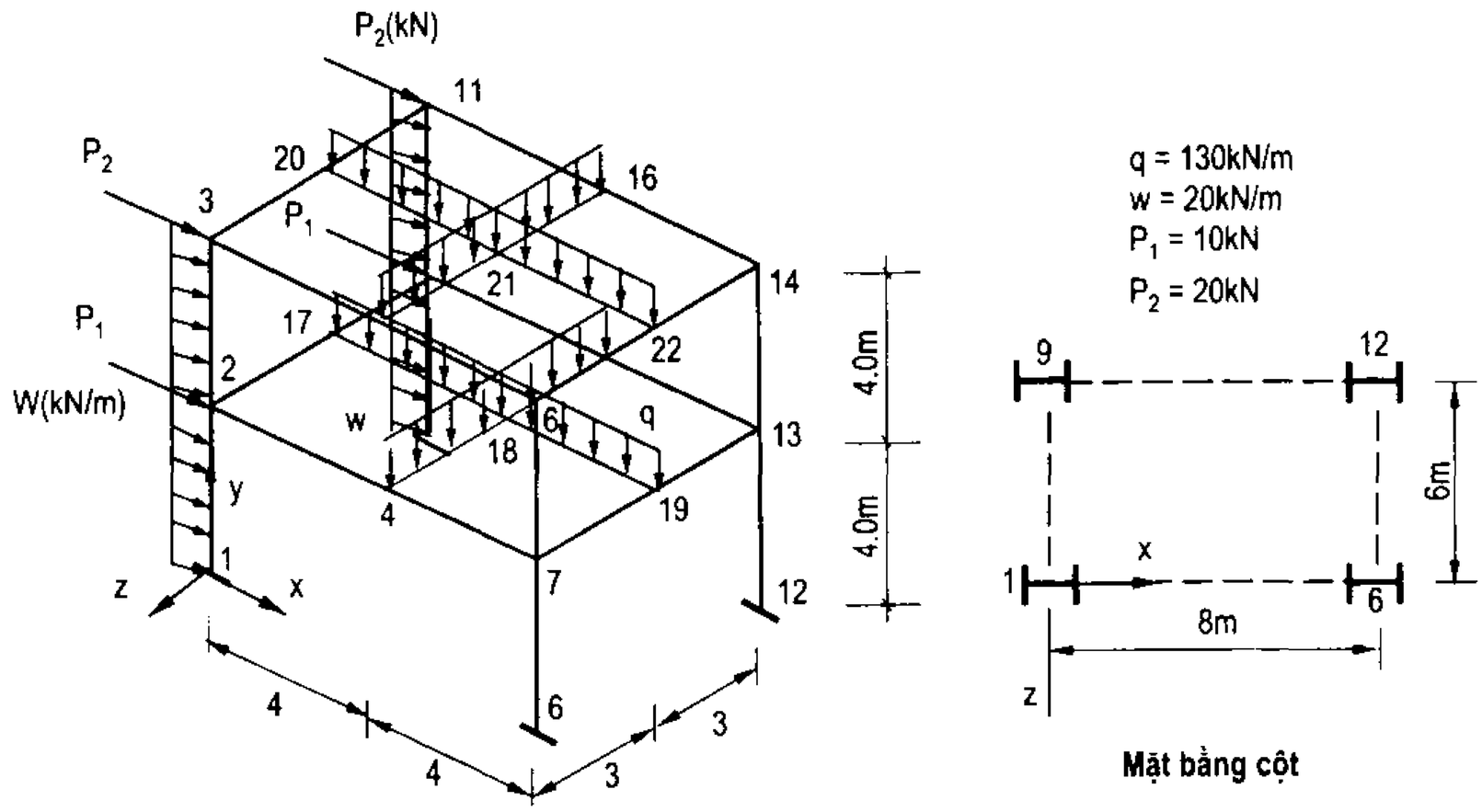
PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT

***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING *****

STAT ELEM	CURRENT MYI	CURRENT MYJ	CURRENT MZI	CURRENT MZJ	CURRENT NI	CURRENT NJ
MINIMUM VALUES						
ELEM	60	60	11	10	169	169
VALUE	-52.803	-67.361	-44.033	-44.033	-90.672	-90.672
MAXIMUM VALUES						
ELEM	51	51	161	161	79	79
VALUE	78.218	63.660	66.800	58.816	20.246	20.246

• **Ví dụ 3.12. Khung không gian 2T1N**

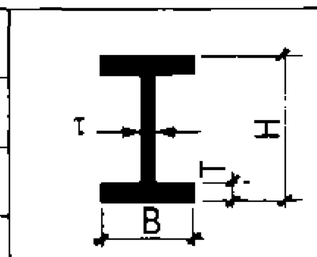
Xác định nội lực và chuyển vị của khung không gian 2 tầng 1 nhịp, chân cột liên kết ngàm, có sơ đồ tính toán cho ở hình 3.148. Dầm và cột tiết diện chữ I có kích thước cho ở bảng 3.18. Vật liệu thép có mô đun đàn hồi $E = 2.1\times10^8 kN/m^2$, hệ số $\mu = 0.3$.



Hình 3.148. Sơ đồ tính toán khung

Bảng 3.18. Kích thước tiết diện dầm và cột

Kích thước tiết diện (mm)	H	B	T	t
Dầm biên W24×55	599.4	178.1	12.8	10
Dầm đỡ sàn W21×44	525.8	165.1	11.4	8.89
Cột W18×119	482.6	287	26.9	16.6



1. Phương thức GUI

- *Đặt tên bài toán:* Từ menu File > Change Title > Xuất hiện bảng Change Title

Nhập: Vidu 3.12 - Khung khong gian 2T1N > OK

- *Chọn hệ đơn vị*: kN, m

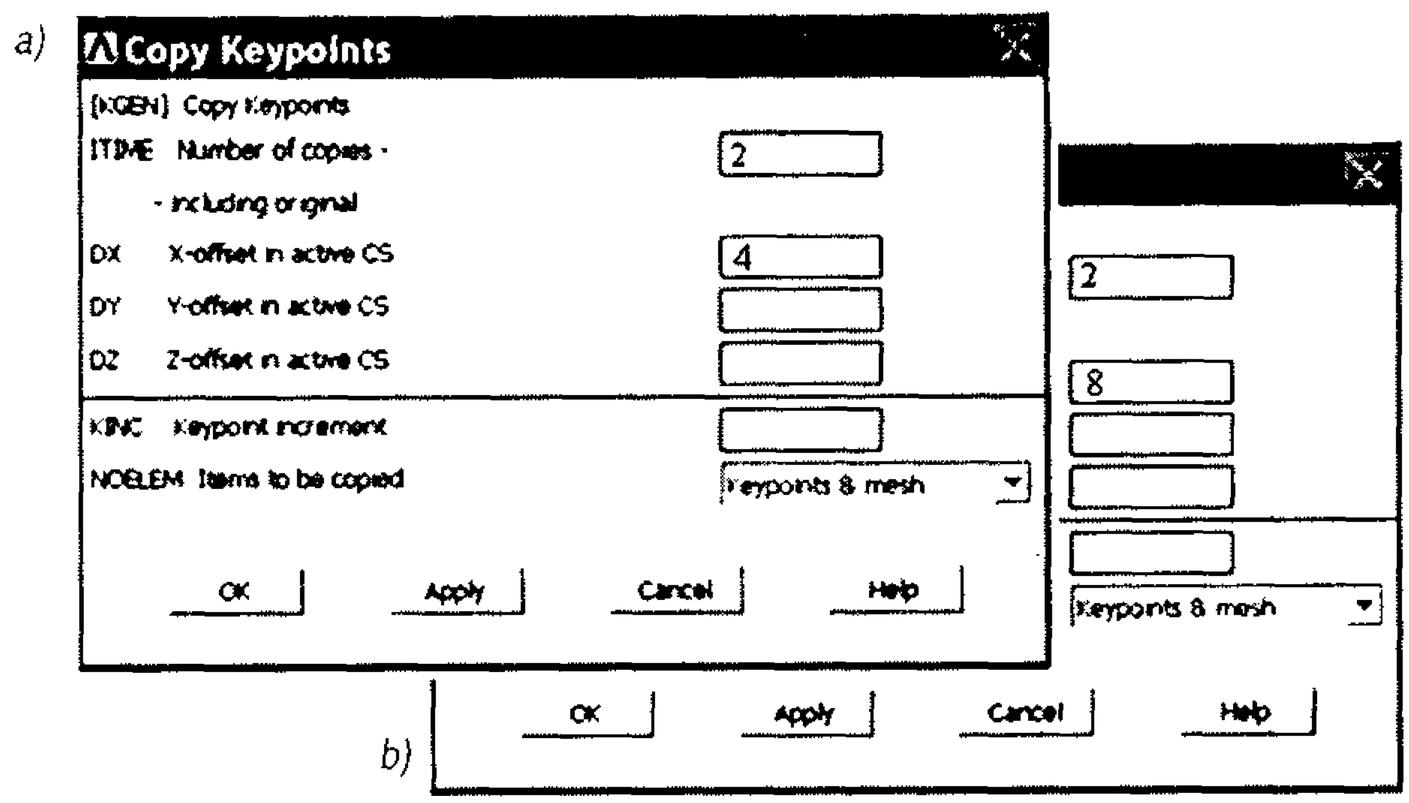
- *Tạo 3 điểmt*: Từ menu Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS > Xuất hiện bảng Create Keypoints in Active Coordinate System:

Nhập điểm 1 với tọa độ X=0, Y=0, Z=0 > Apply

Nhập điểm 2 có tọa độ X=0, Y=4, Z=0 > Apply

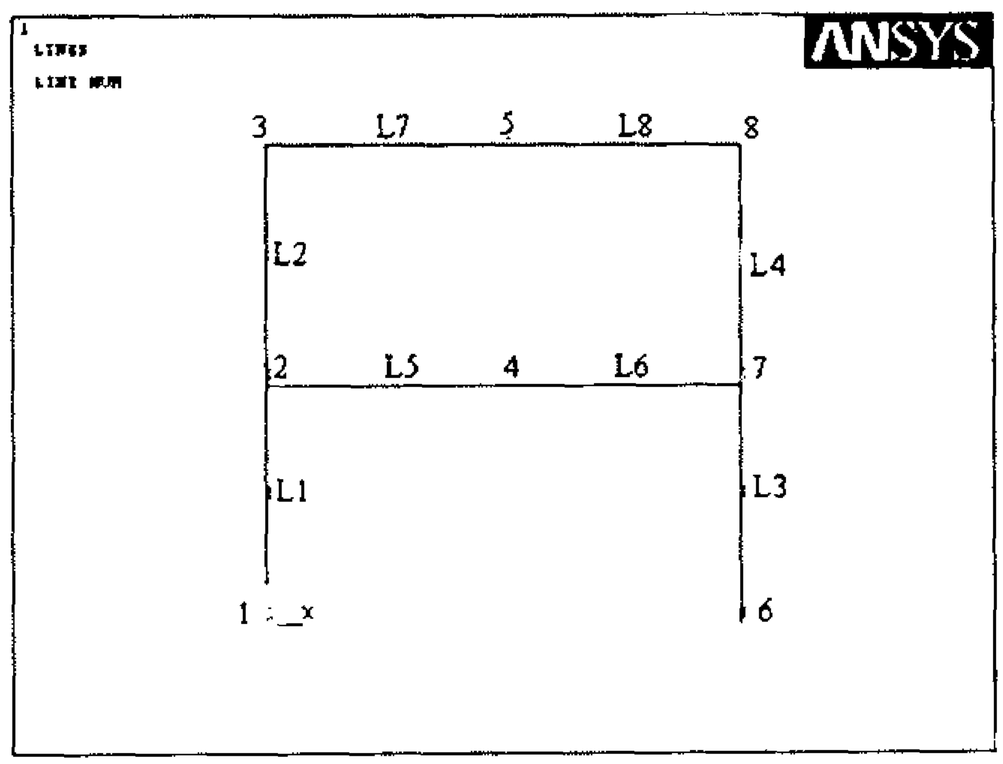
Nhập điểm 3 có tọa độ X=0, Y=8, Z=0 > OK

- *Tạo 5 điểm nữa bằng chức năng Copy:* Từ menu Preprocessor > Modeling > Copy > Keypoints > Chọn các điểm 2 và 3 > Apply > Xuất hiện bảng Copy Keypoints như ở hình 3.149a. Nhập số lần Copy (kể cả đối tượng copy) ITIME = 2 và khoảng cách theo phương X là DX = 4 > Apply > Chọn tiếp các điểm 1, 2 và 3 > OK > Xuất hiện bảng Copy Keypoints như ở hình 3.149b. Nhập ITIME = 2 và khoảng cách theo phương X là DX = 8.



Hình 3.149. *Lệnh Copy điểm theo phương X*

- *Vẽ các thanh của khung trong mặt phẳng XY với Z=0*: Từ Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Straight Line > Nhấn chuột lần lượt vào các điểm theo thứ tự sau 1-2, 2-3, 6-7, 7-8, 2-4, 4-7, 3-5 và 5-8, ta có kết cấu khung phẳng 2 tầng 1 nhịp như ở hình 3.150.

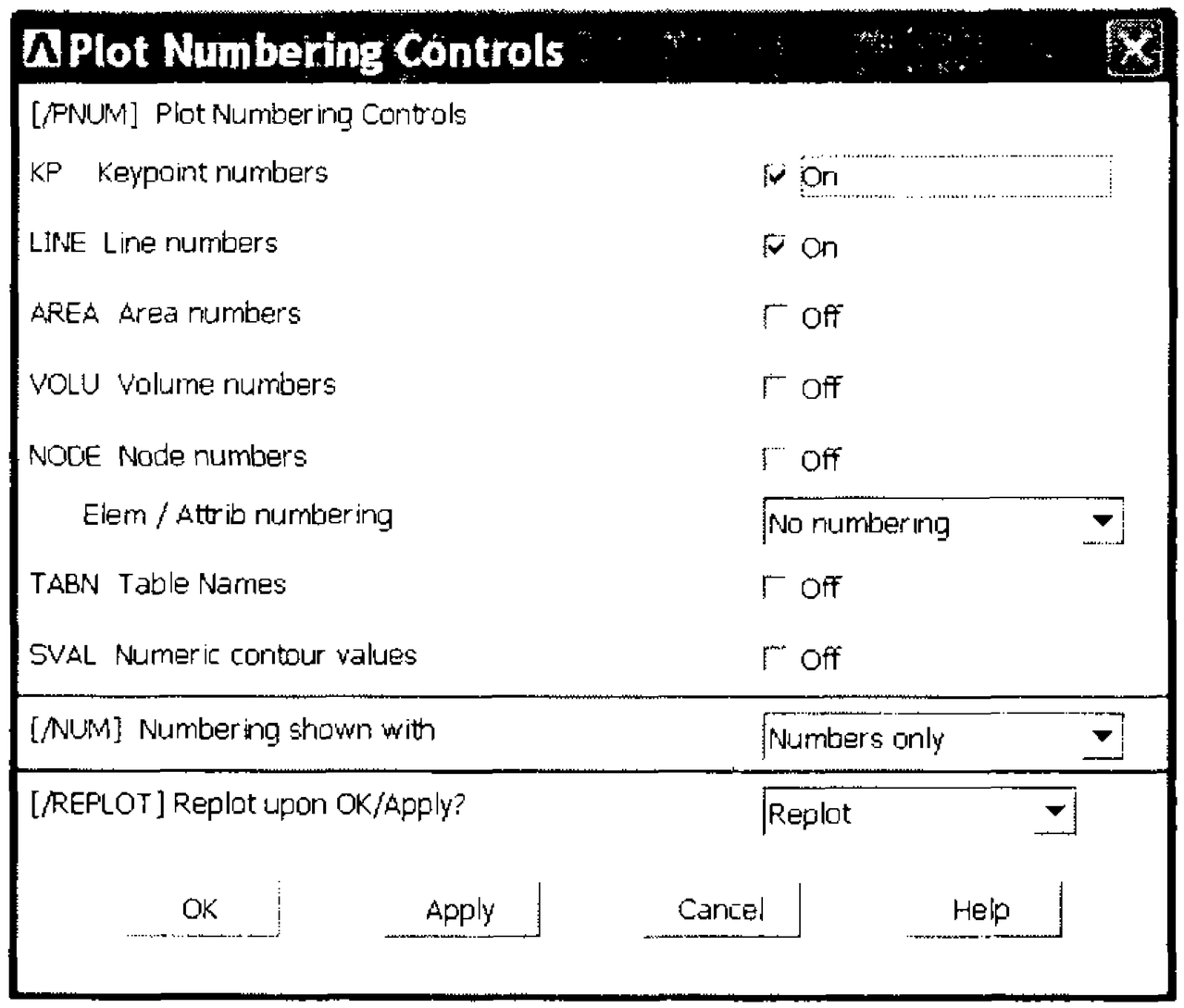


Hình 3.150. *Khung trong mặt phẳng XY với Z=0*

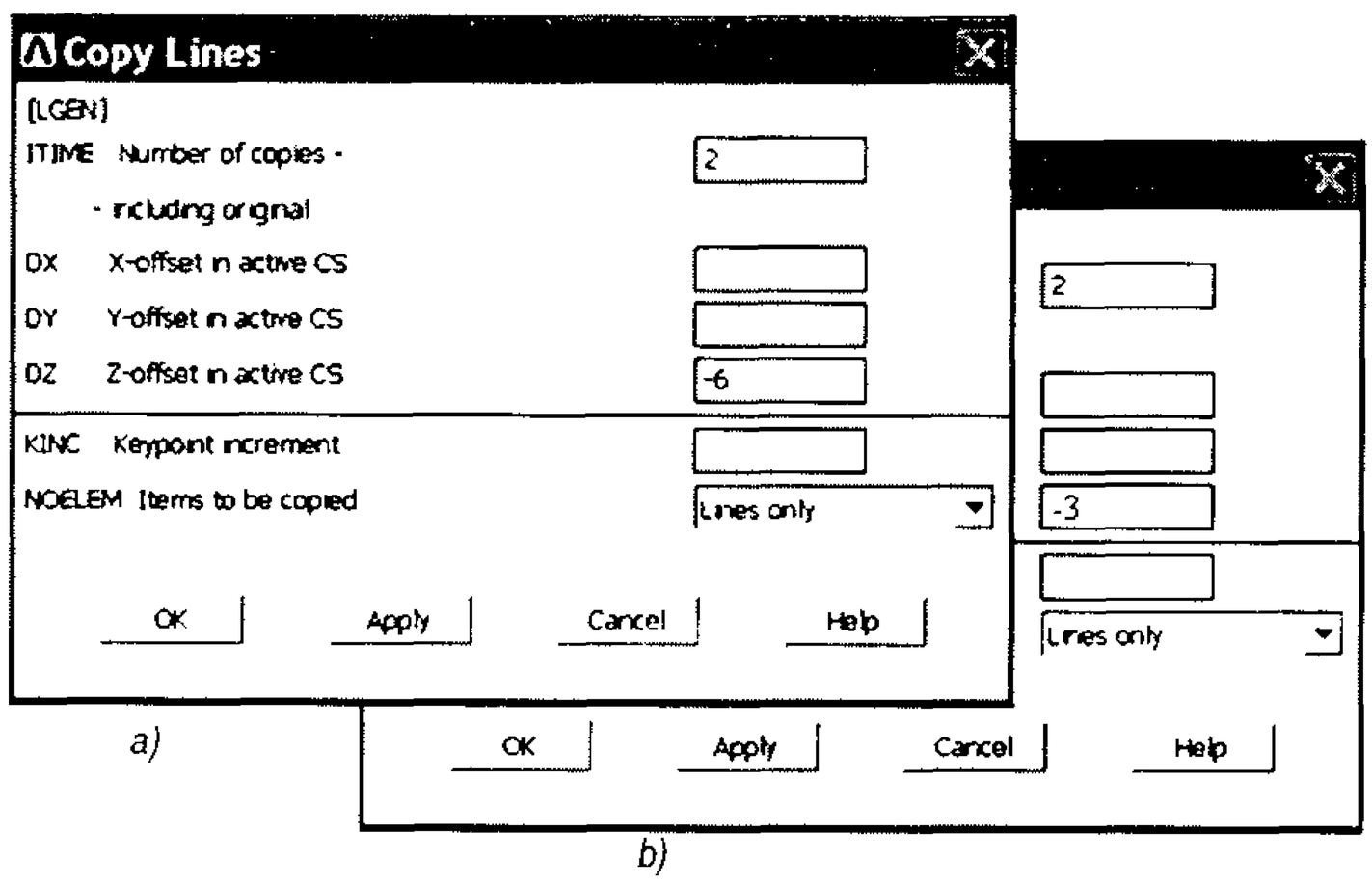
- *Hiển thị mã các điểm và mã các đường ở hình 3.150:* Utility Menu > Plot Contrls > Numbering > Xuất hiện bảng Plot Numbering Ctrls như ở hình 3.151 > Chọn KP Keypoint Numbers ☑ On, LINE Line Numbers ☑ On và [/NUM] Numbering shown with: [Numbers only].

- *Hiển thị hình không gian*: Chuyển hình vẽ khung ở hình 3.150 sang chế độ hiển thị Isotropic bằng cách nhấn chuột vào nút trên thanh công cụ phía bên phải màn hình.

- *Copy khung phẳng XY với Z=0 sang mặt phẳng XY với Z=-6*: Từ menu Preprocessor > Modeling > Copy > Lines > Pick All > OK > Xuất hiện bảng Copy Lines như ở hình 3.152a. Nhập ITIME=2 và khoảng cách giữa hai mặt phẳng theo phương Z là DZ=-6 > OK, ta có 2 khung phẳng song song như ở hình 3.153.



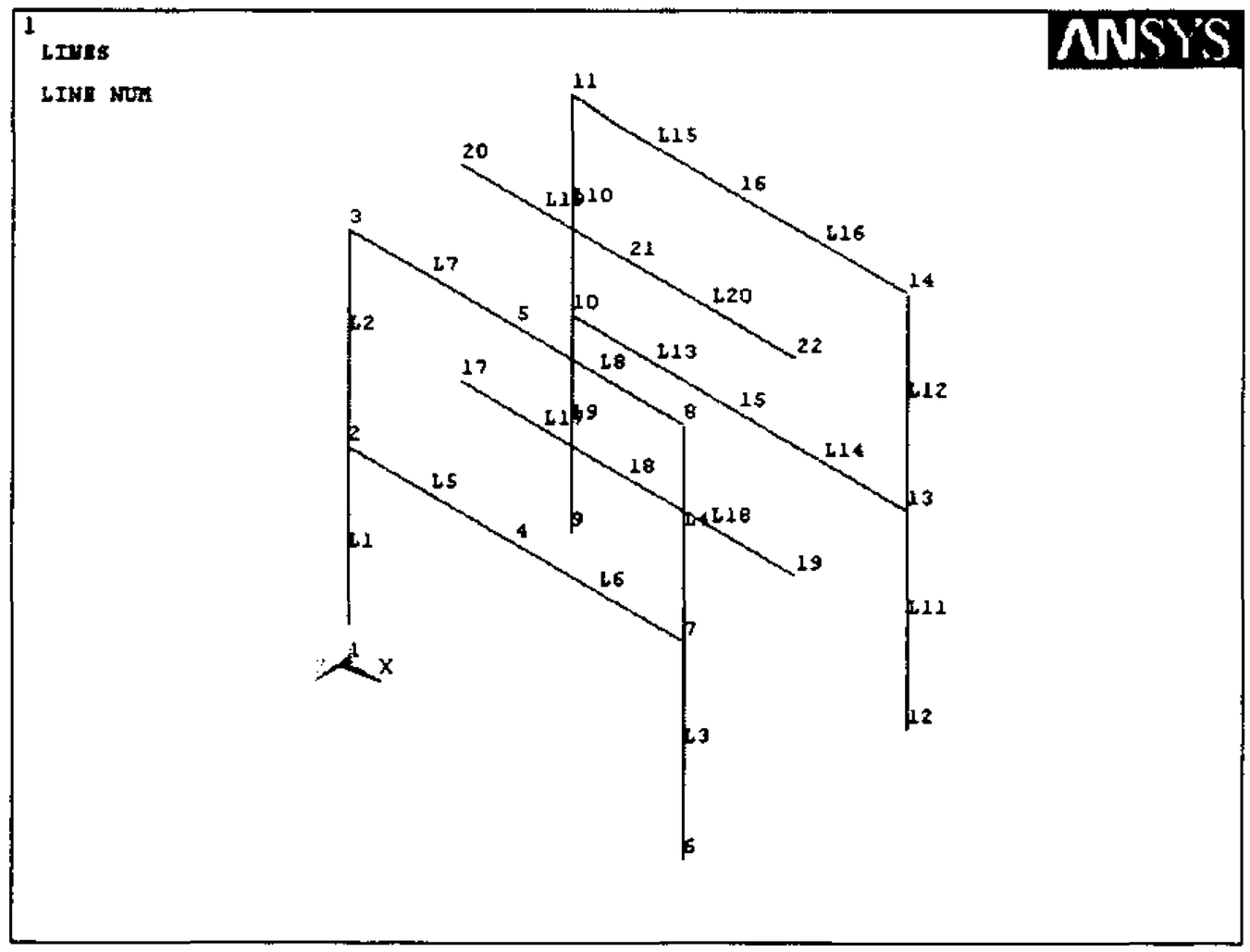
Hình 3.151. Lệnh hiển thị mã điểm và đường của khung



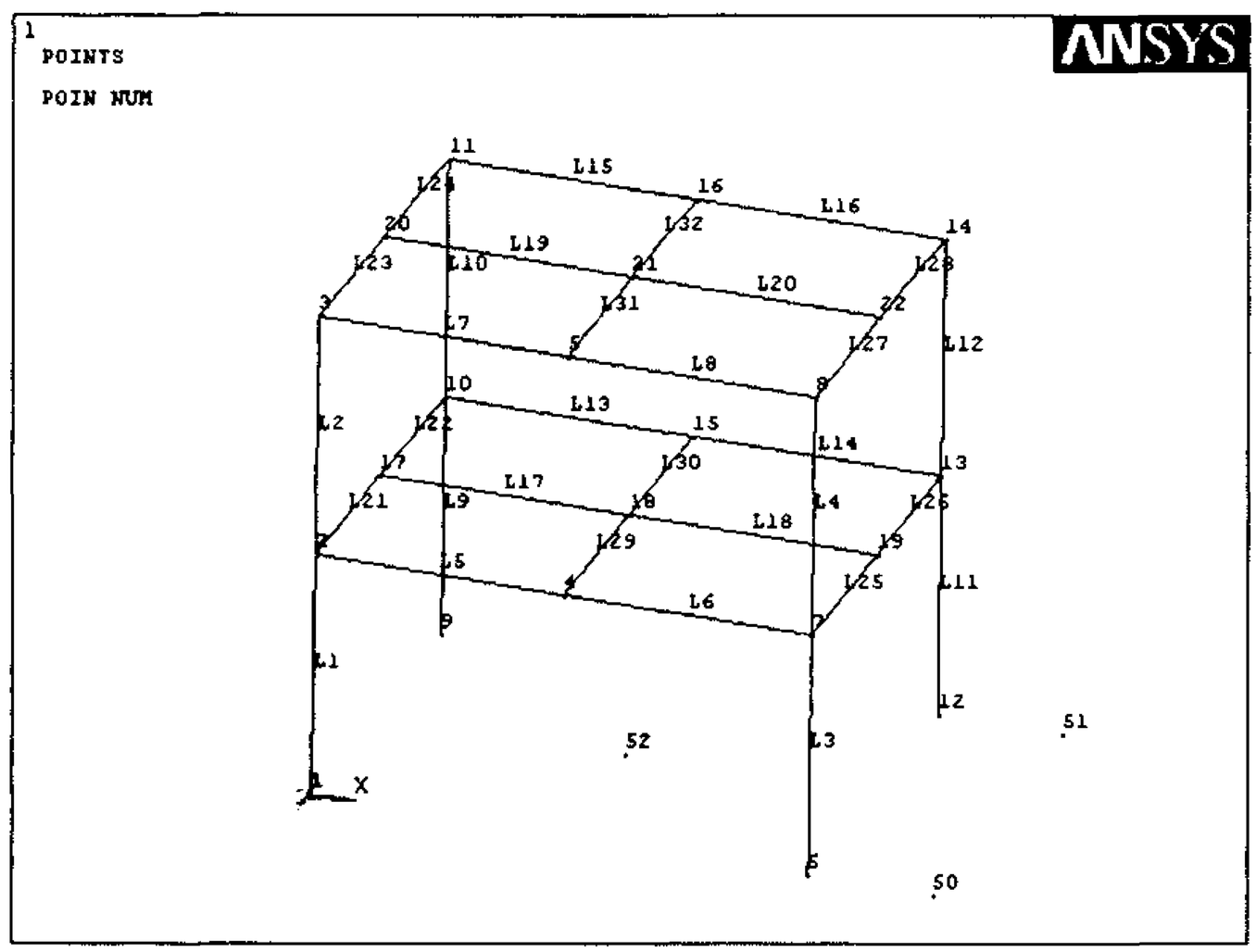
Hình 3.152. Lệnh Copy đường theo phương Z

- *Tạo các thanh dọc giữa hai khung bằng chức năng Copy:* Preprocessor > Modeling > Copy > Lines > Chọn các thanh 2-4, 4-7, 3-5, 5-8 > OK > Xuất hiện bảng Copy Lines như ở hình 3.152b > Nhập số lần Copy ITIME = 2 và bước copy DZ=-3 > OK, ta có thêm các thanh dọc giữa 2 khung phẳng như ở hình 3.153.

- *Vẽ các thanh nối 2 khung phẳng:* Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Straight Line > Nhấn chuột lần lượt vào điểm 2-17, 17-10, 4-18, 18-15, ...



Hình 3.153. *Hai khung phẳng song song và các thanh dọc*



Hình 3.154. *Mã các điểm và mã đường của khung*

- *Tạo thêm 3 điểm định hướng 50, 51 và 52: cho cột và cho dầm đỡ sàn*: Từ menu Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS > Xuất hiện bảng Create Keypoints in Active Coordinate System:

Nhập điểm 50 có tọa độ X=10, Y=0, Z=0 > Apply

Nhập điểm 51 có tọa độ X=10, Y=0, Z=-6 > Apply

Nhập điểm 52 có tọa độ X=4, Y=0, Z=-3 > OK (xem hình 3.154)

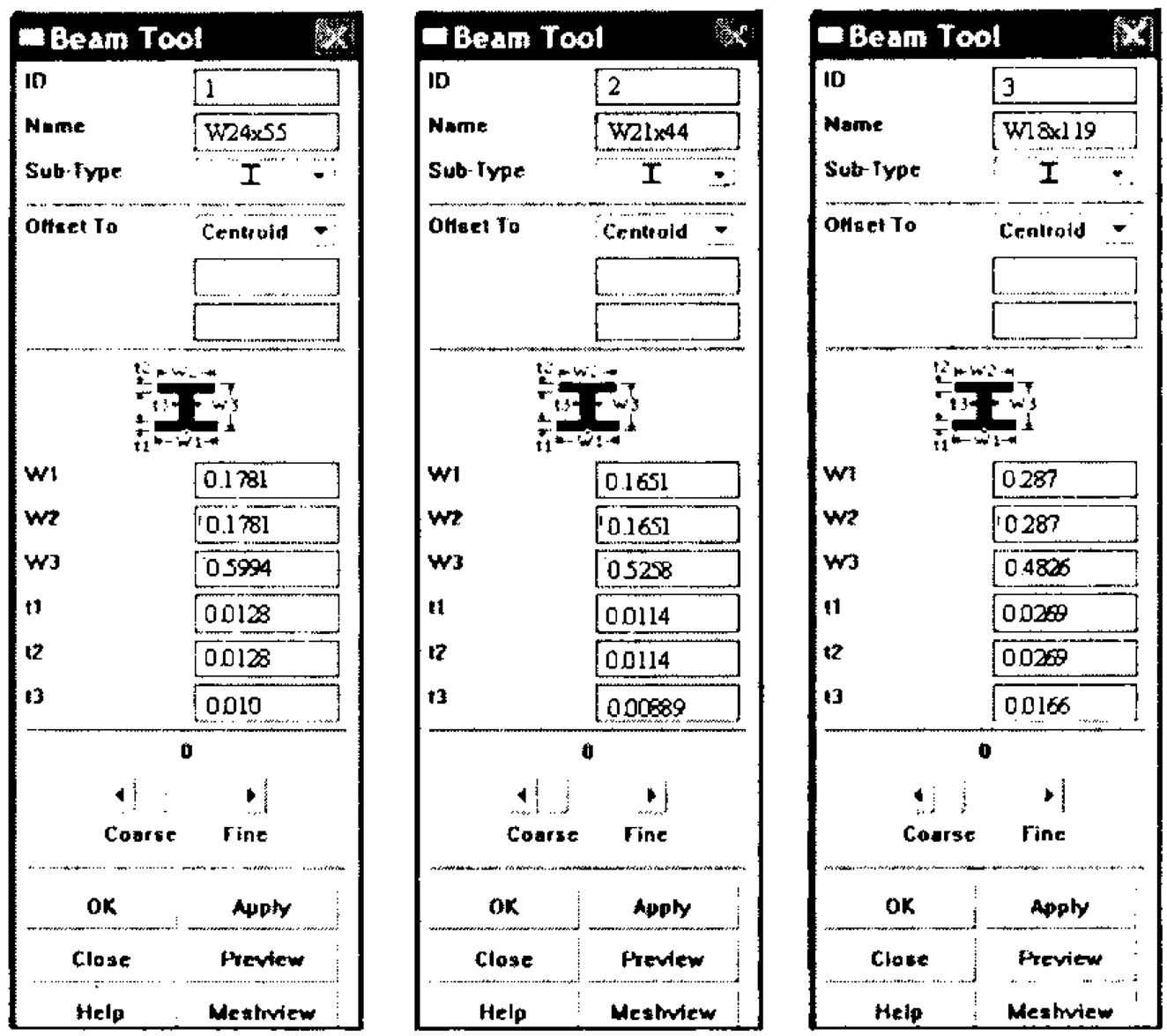
- *Chọn loại phần tử*: Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Xuất hiện Element Type > Add > Xuất hiện bảng Library of Element Types > Add > Chọn phần tử Beam ở cửa sổ trái > Chọn Tapered 44 ở cửa sổ phải > OK > Close.

- *Định nghĩa đặc trưng hình học tiết diện dầm và cột:* Preprocessor > Section > Beam > Common Sections > Xuất hiện bảng Beam Tool như ở hình 3.155 và nhập các số liệu sau:

ID:1: W24×55, W1=W2=0.1781; W3=0.5994, t1=t2= 0.0128, t3=0.010 > Apply

ID:2: W21×44, W1=W2=0.1651, W3=0.5258, t1=t2= 0.0114, t2=0.00889 > Apply

ID:3: W18×119, W1=W2=0.287, W3=0.4826, t1=t2=0.0269, t2=0.0166 > OK



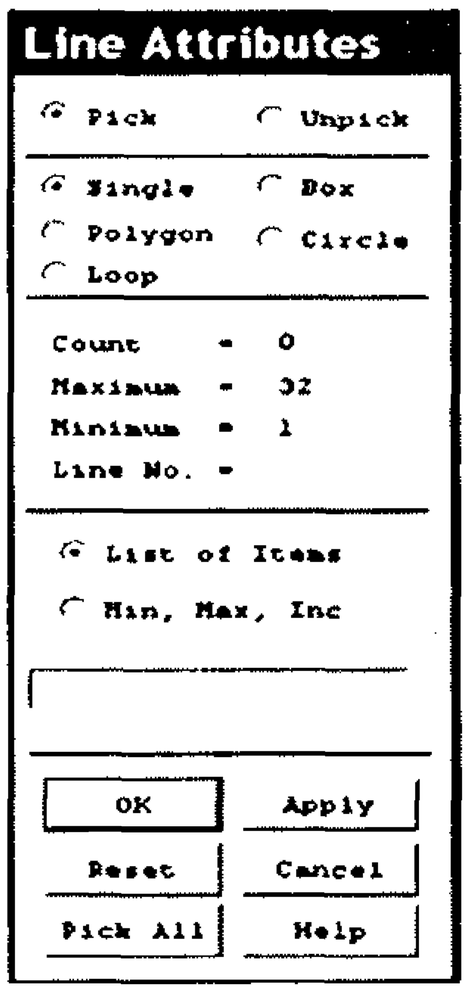
Hình 3.155. *Đặc trưng hình học của tiết diện dầm và cột*

- *Định nghĩa thuộc tính của vật liệu*: Preprocessor > Material Props > Material Model > Xuất hiện bảng Define Material Model Behavior > Nhấn nút Structural > Linear > Elastic > Isotropic. Xuất hiện bảng Linear Isotropic Properties for Material > Nhập mô đun đàn hồi EX = 2.1×108kN/m^2 và hệ số Poisson PRXY = 0.3 > Nhấn Material > Exit.

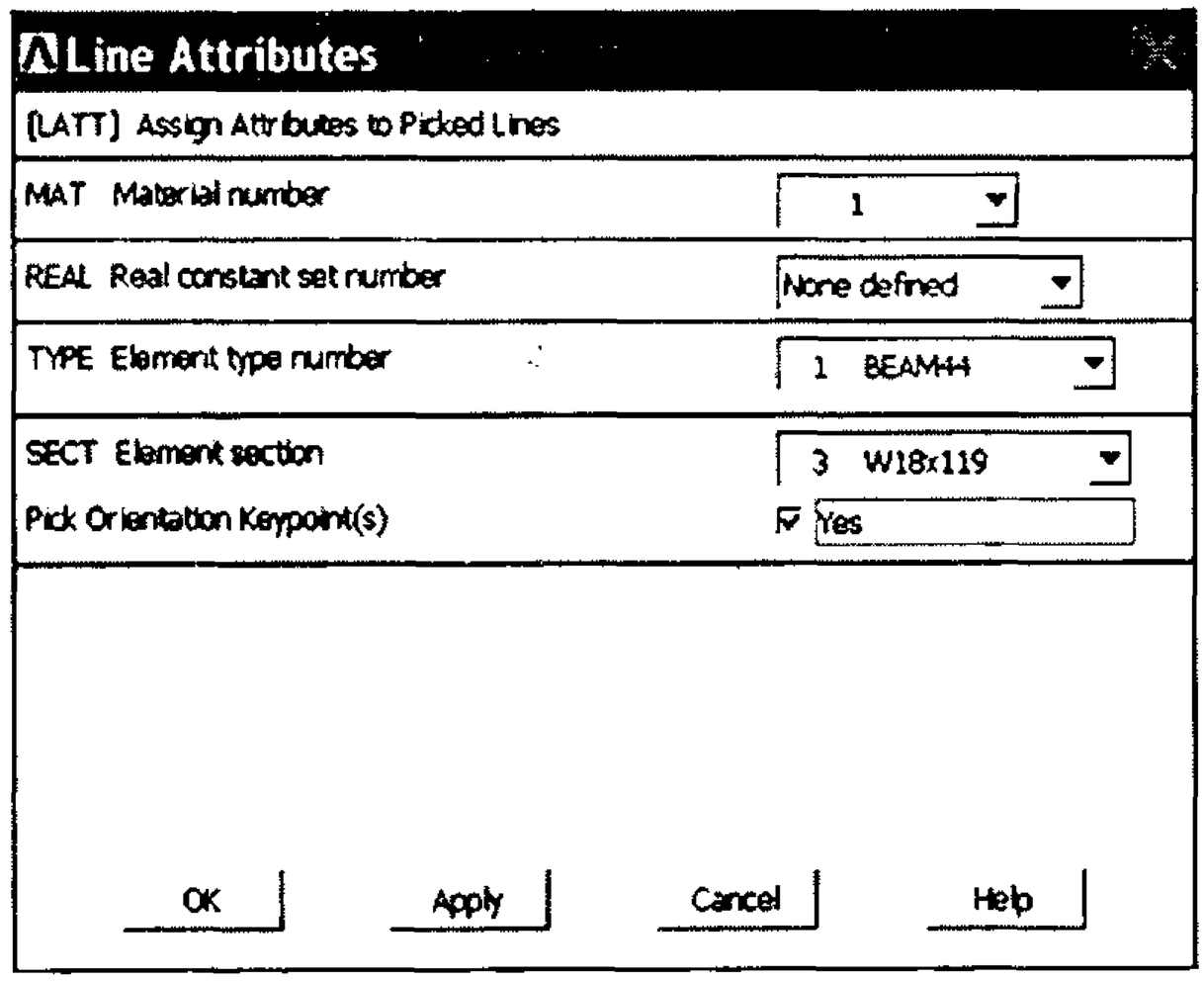
- *Chọn kích thước lưới:* Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > Manual Size > Lines > All Lines > Xuất hiện bảng Element Sizes on All Selected Lines > Nhập số lượng đoạn chia cho một phân tố dầm và cột NDIV=10 > OK.

- *Gán thuộc tính cho các thanh*: Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > Picked Lines > Xuất hiện bảng Line Attributes như ở hình 1.155 > Nhấn chuột vào các cột L1, L2, L3, L4 > Apply > Xuất hiện bảng Line Attributes như ở hình 3.157 > Chọn: MAT=1, TYPE = 1 BEAM44, SECT=3 W18×119, Pick Orientation Keypoint ☑ YES

>Apply > Nhấn điểm định hướng 50 > Apply > Chọn các cột L9, L10, L11, L12 > Apply > Chọn: MAT = 1, TYPE = 1 BEAM44, SECT = 3 W18×119, Pick Orientation Keypoint ☑ YES >Apply > Nhấn điểm định hướng 51 > Apply.



Hình 3.156



Hình 3.157. *Gán thuộc tính cho cột*

Chọn các dầm dọc L5, L6, L7, L8 > Apply > Chọn: MAT = 1, TYPE = 1 BEAM44, SECT = 1 W24×55, Pick Orientation Keypoint ☑ YES > Apply > Nhấn điểm định hướng 1 > Apply > Chọn các dầm dọc L13, L14, L15, L16 > Apply > Chọn: MAT = 1, TYPE = 1 BEAM44, SECT = 1 W24×55, Pick Orientation Keypoint ☑ YES > Apply > Nhấn điểm định hướng 9 > Apply.

Chọn các dầm ngang L21, L22, L23, L24 > Apply > Chọn: MAT = 1, TYPE = 1 BEAM44, SECT = 1 W24×55, Pick Orientation Keypoint ☑ YES >Apply > Nhấn điểm định hướng 1 > Apply > Chọn các dầm dọc L25, L26, L27, L28 > Apply > Chọn: MAT = 1, TYPE = 1 BEAM44, SECT = 1 W24×55, Pick Orientation Keypoint ☑ YES >Apply > Nhấn điểm định hướng 6 > Apply.

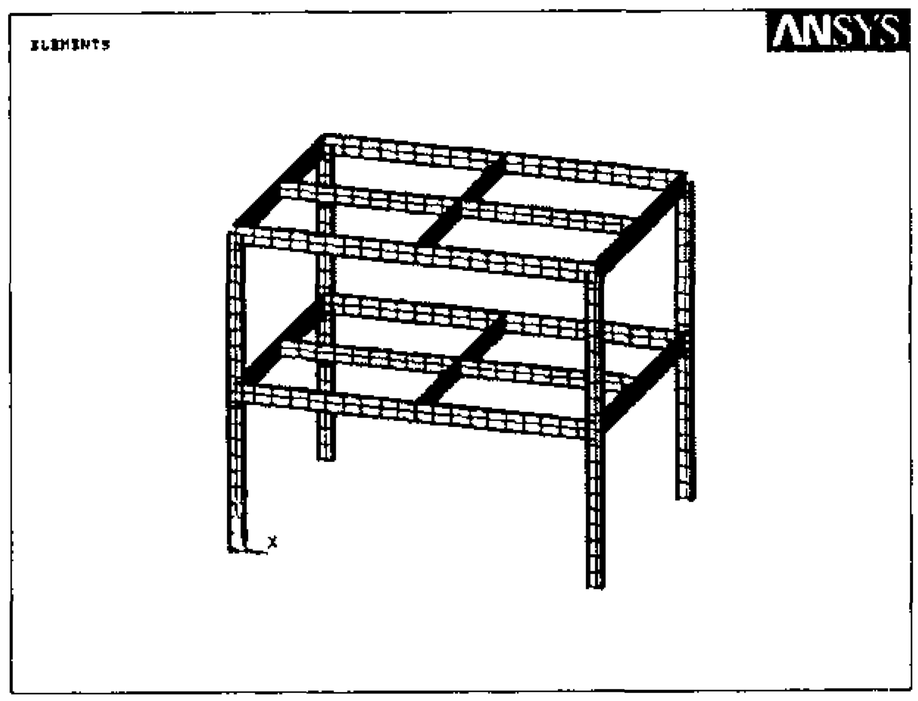
Chọn các dầm đỡ sàn L17, L18, L19, L20, L29, L30, L31, L32 > Apply > Chọn: MAT = 1, TYPE = 1 BEAM44, SECT = 2 W21×44, Pick Orientation Keypoint ☑ YES > Apply > Nhấn điểm định hướng 52 > OK.

- *Chia lưới phần tử:* Preprocessor > Meshing > Mesh > Lines > Pick All.

- *Hiển thị ba chiều các phần tử của khung:* Utility Menu > PlotControls > Style > Size and Shape > Display of Element ☑ On > OK, ta có kết cấu khung như ở hình 3.158.

- *Định nghĩa kiểu phân tích*: Solution > Analysis Type > New Analysis > Xuất hiện bảng New Analysis > Chọn ⊙ Static > OK.

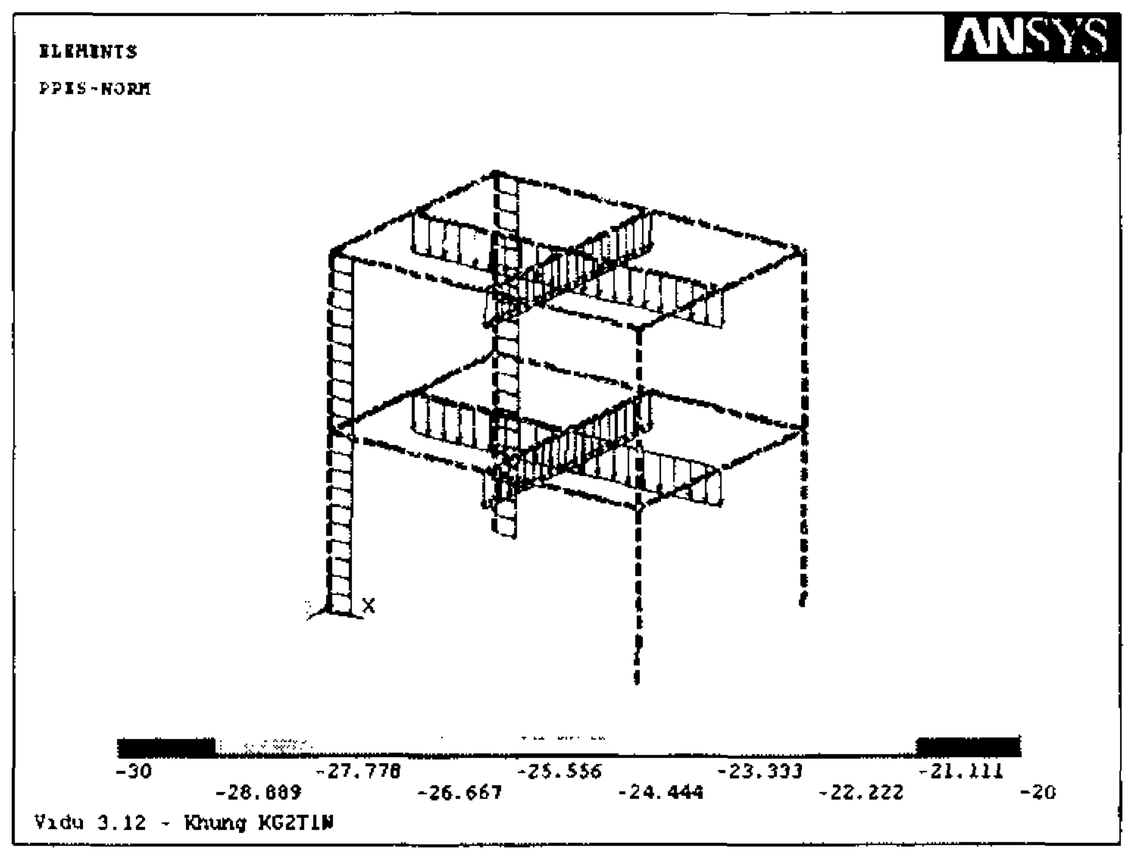
- *Gán liên kết:* Solution > Define Loads > Apply > Displacement > On Keypoints > Chọn điểm chân cột 1, 6, 9 và 12 > OK > Xuất hiện bảng Apply U, ROT on KPs > Chọn All DOF > Nhập giá trị chuyển vị VALUE = 0 > OK.



Hình 3.158. *Kết cấu khung*

- *Gán tải trọng tập trung*: Solution > Define Load > Apply > Structural > Force/Moment > Nhấn chuột vào điểm 2 và 10 > Nhấn Apply > Xuất hiện bảng Apply F/M on KPs > Chọn phương của tải trọng FX, nhập giá trị của lực VALUE = 10 > Apply > Chọn điểm 3 và 11 > Nhấn Apply > Xuất hiện bảng Apply F/M on KPs > Chọn FX, nhập giá trị của lực VALUE = 20 > OK.

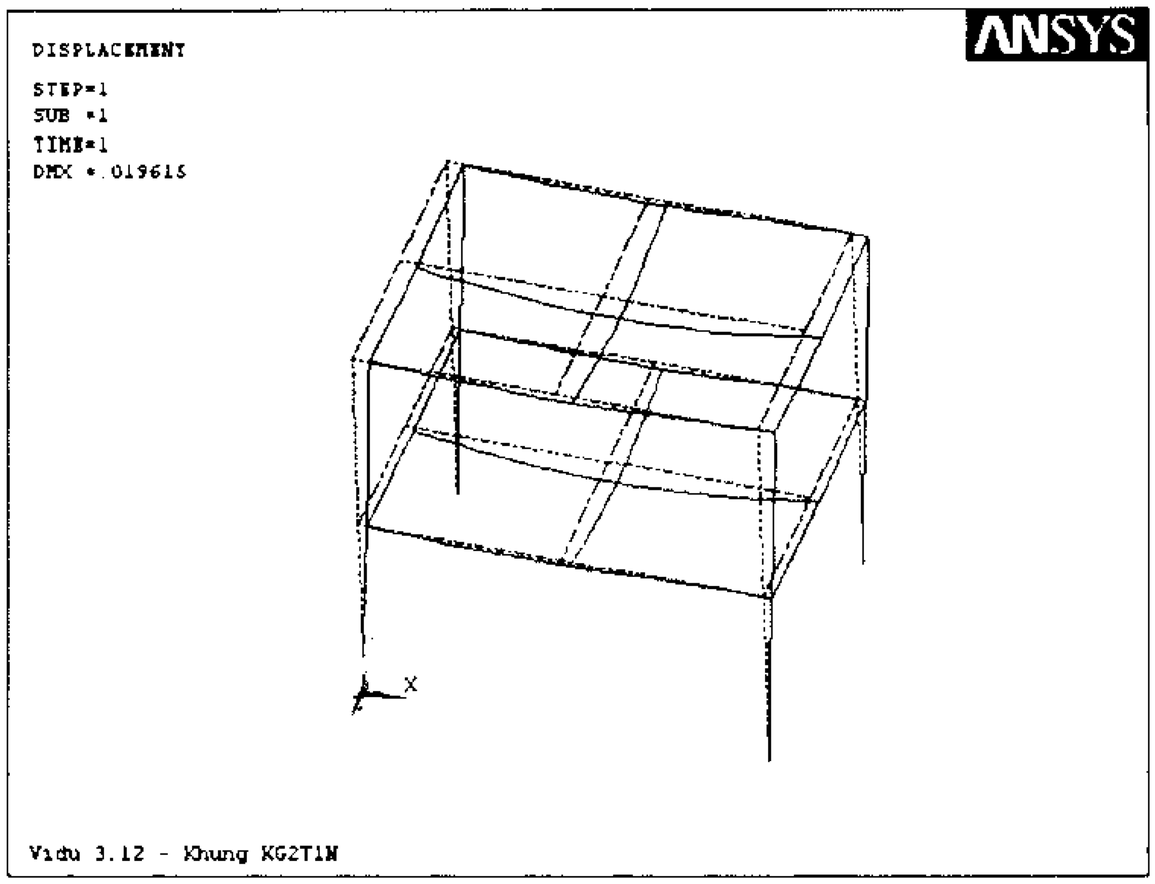
- *Gán tải trọng phân bố đều q và W*: Solution > Define Load > Apply > Structural > Pressure > Nhấn chuột vào tất cả các phần tử thuộc các thanh chịu tải trọng phân bố q (L17, L18, L19, L20, L29, L30, L31, L32) > Apply > Nhập VALUE1=-30 > Apply > Chọn các phần tử thuộc các thanh chịu tải trọng phân bố W (L1, L2, L9, L10) > OK > Nhập VALUE1=-20 > OK, ta có sơ đồ tải trọng tác dụng lên khung như ở hình 3.159.



Hình 3.159. *Sơ đồ tải trọng tác dụng lên khung*

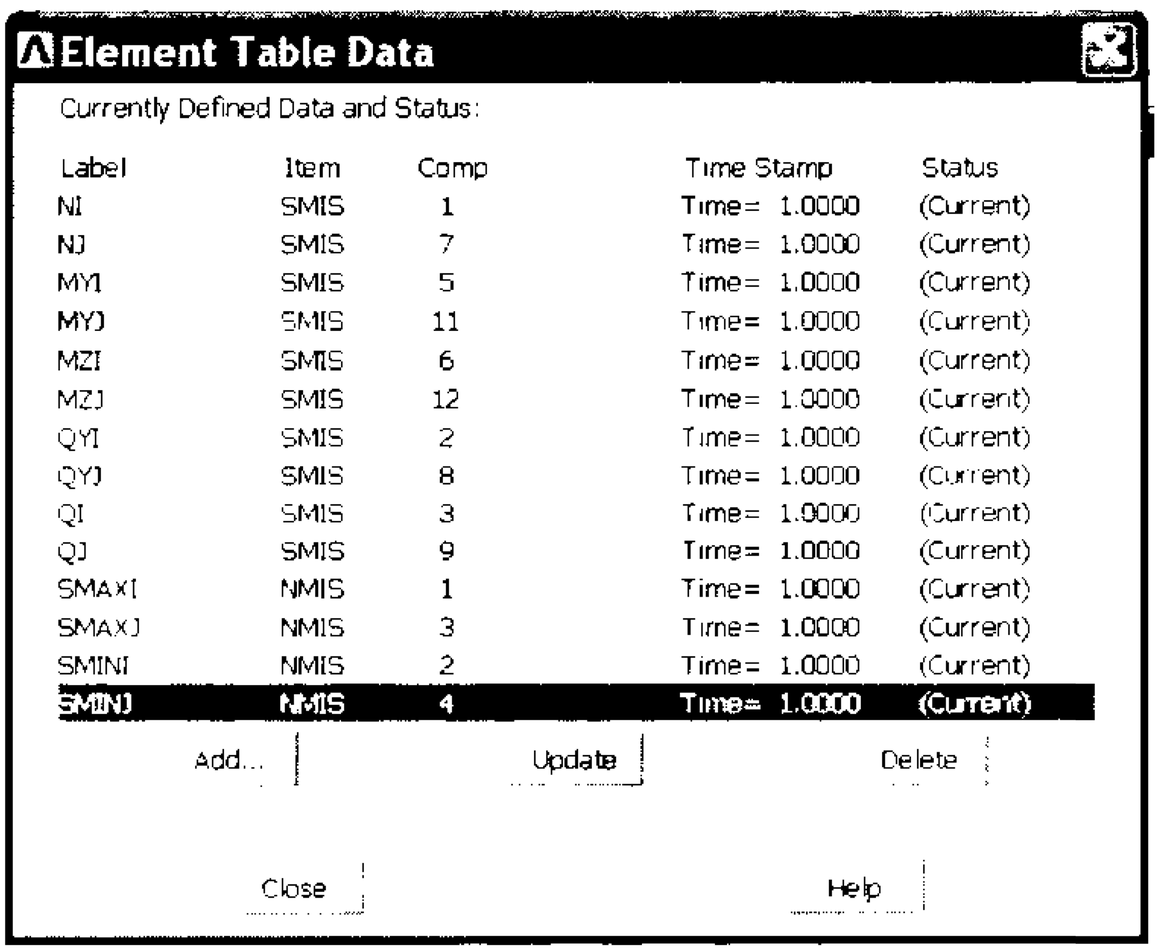
- *Chạy chương trình*: Solution > Solve > Currunt LS > Xuất hiện thông báo việc giải đã hoàn thành Solution is done > Close.

- *Chuyển vị của khung*: General Postproc > Plot Results > Deformed Shape > Thông báo phía góc trên bên trái hình 3.160 cho biết chuyển vị toàn phần lớn nhất DMX = 0.019615m.



Hình 3.160. *Hình dạng biến dạng của khung*

- *Định nghĩa mã nội lực hai đầu phần tử thanh:* General Postprocessor > Element Table > Element Table Data > Nhập mã nội lực và ứng suất như ở hình 3.161 > Close.



Label	Item	Comp	Time Stamp	Status
NI	SMIS	1	Time= 1.0000	(Current)
NJ	SMIS	7	Time= 1.0000	(Current)
MYI	SMIS	5	Time= 1.0000	(Current)
MYJ	SMIS	11	Time= 1.0000	(Current)
MZI	SMIS	6	Time= 1.0000	(Current)
MZJ	SMIS	12	Time= 1.0000	(Current)
QYI	SMIS	2	Time= 1.0000	(Current)
QYJ	SMIS	8	Time= 1.0000	(Current)
QI	SMIS	3	Time= 1.0000	(Current)
QJ	SMIS	9	Time= 1.0000	(Current)
SMAXI	NMIS	1	Time= 1.0000	(Current)
SMAXJ	NMIS	3	Time= 1.0000	(Current)
SMINI	NMIS	2	Time= 1.0000	(Current)
SMINJ	NMIS	4	Time= 1.0000	(Current)

Hình 3.161. *Mã nội lực và ứng suất*

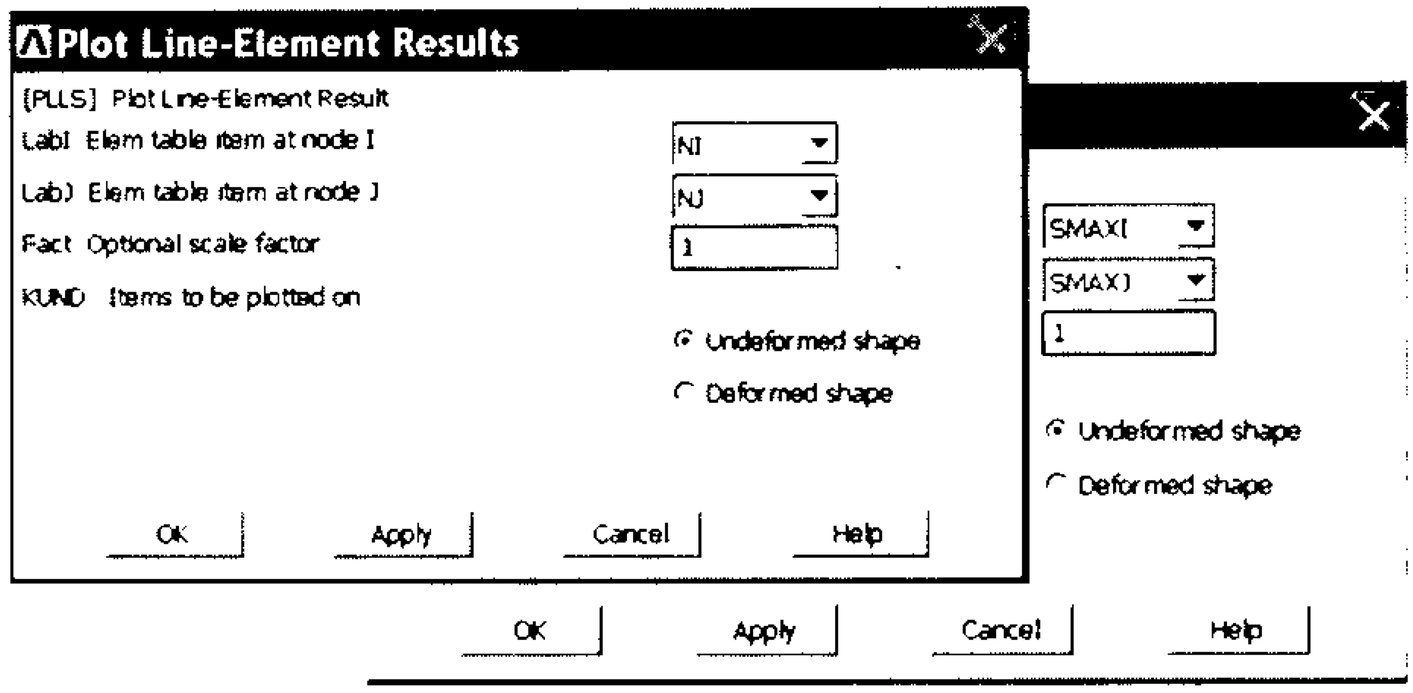
- *Hiển thị biểu đồ nội lực và ứng suất:* General Postprocessor > Plot Result > Contour Plot > Line Element Result > Xuất hiện bảng Plot Line- Element Results > Chọn mã nội lực và ứng suất ở hai nút I và J như ở hình 3.162:

Lực dọc N: LabI=NI và LabJ=NJ

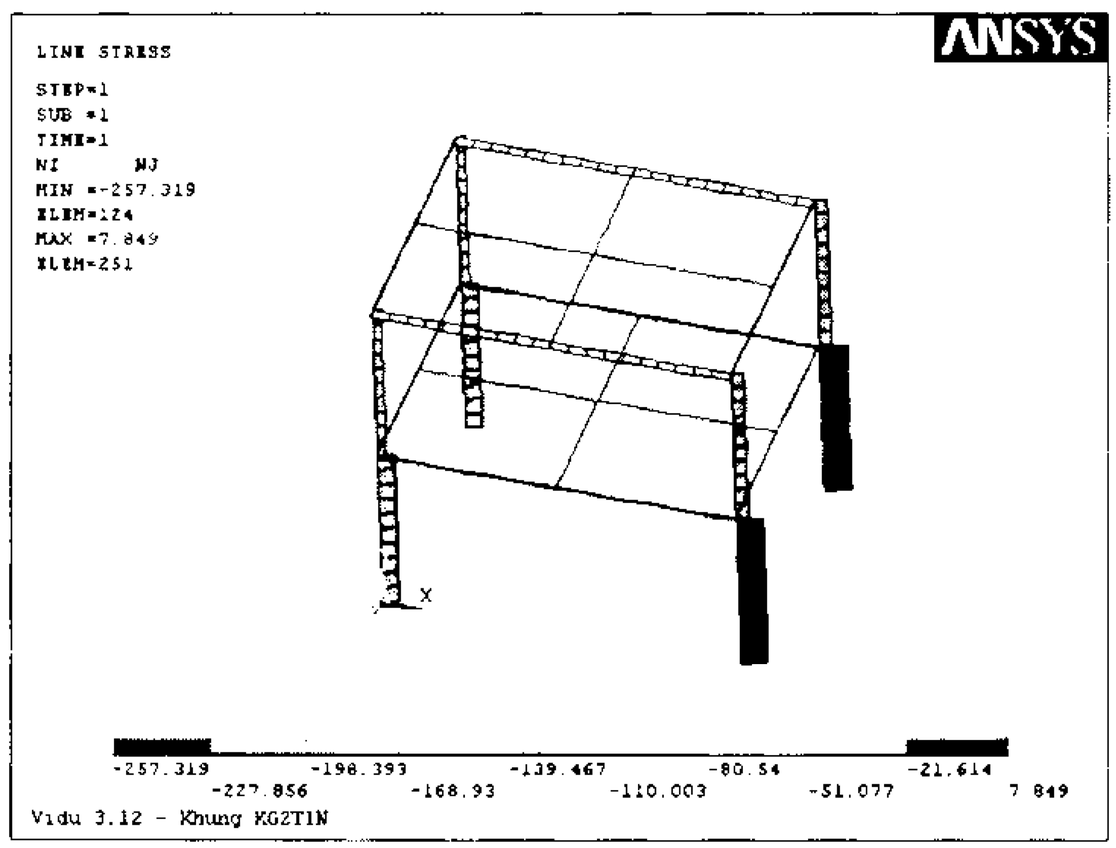
Mômen uốn My: LabI=MYI và LabJ=MYJ

Ứng suất SMAX: LabI=SMAXI và LabJ=SMAXJ

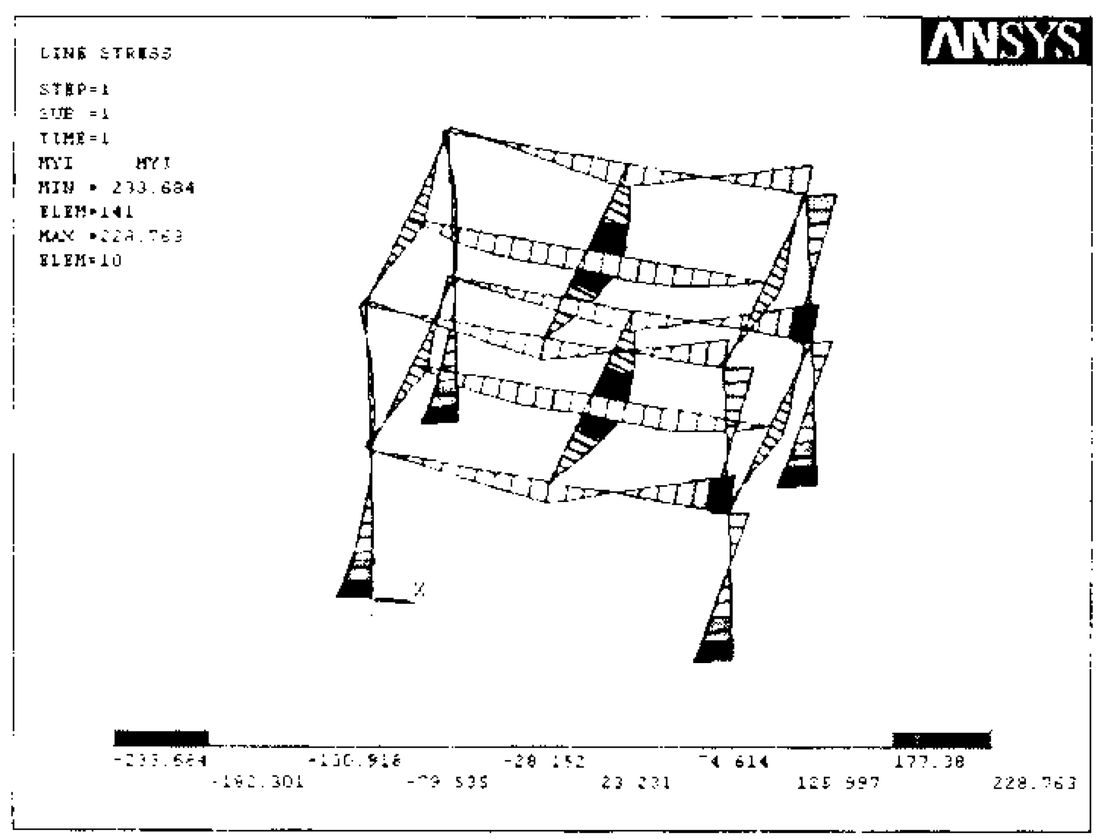
Ứng suất SMIN: LabI=SMINI và LabJ=SMINJ



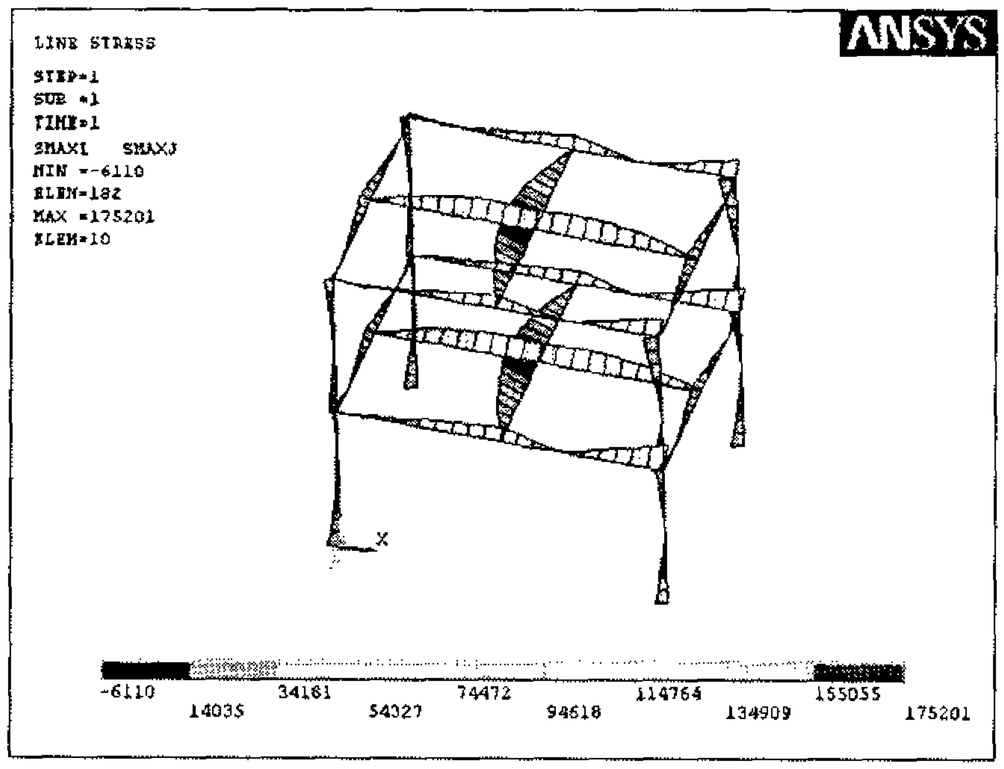
Hình 3.162. Lệnh hiển thị lực dọc N và ứng suất SMAX



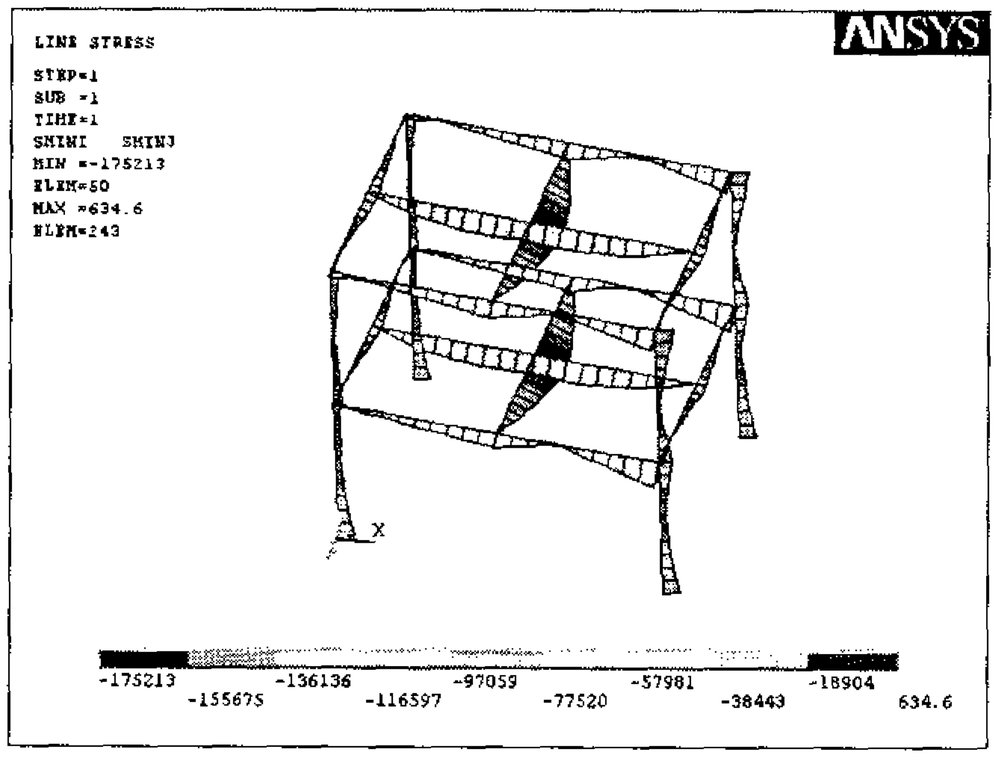
Hình 3.163. Biểu đồ lực dọc N



Hình 3.164. Biểu đồ mômen uốn My



Hình 3.165. Biểu đồ ứng suất SMAX



Hình 3.166. Biểu đồ ứng suất SMIN

2. Phương thức APDL

Các lệnh được soạn thảo trong Word theo 2 cách như sau:

Cách 1: Nhập đặc trưng hình học tiết diện qua lệnh SECTION

```
/TITLE, Vidu 3.12-Khung KG2T1N
/PREP7
ET,1,BEAM44
SECTYPE,1,Beam,I,W24×55,0
SECOFFSET,CENT
SECDATA,0.1781,0.1781,0.5994,0.0128,0.0128,0.010,0,0,0,0
SECTYPE,2,Beam,I,W21×44,0
SECOFFSET,CENT
SECDATA,0.1651,0.1651,0.5258,0.0114,0.0114,0.00889,0,0,0,0
SECTYPE,3,Beam,I,W21×44,0
```

```
SECOFFSET,CENT
SECDATA,0.287,0.287,0.4826,0.0269,0.0269,0.0166,0,0,0,0
MP,EX,1,2.1E+8
MP,PRXY,1,0.3
K,1,0,0,0
K,2,0,4,0
K,3,0,8,0
K,50,10,0,0
K,51,10,0,-6
K,52,4,0,-3
KGEN,2,2,3,1,4
KGEN,2,1,3,1,8
KGEN,2,1,9,1,,,-6
KGEN,2,2,5,1,,,-3
LSTR,1,2
LSTR,2,3
LSTR,6,7
LSTR,7,8
LSTR,9,10
LSTR,10,11
LSTR,14,15
LSTR,15,16
LSTR,2,4
LSTR,4,7
LSTR,3,5
LSTR,5,8
LSTR,10,12
LSTR,12,15
LSTR,11,13
LSTR,13,16
LSTR,2,17
LSTR,17,10
LSTR,3,18
LSTR,18,11
LSTR,7,21
LSTR,21,15
LSTR,8,22
LSTR,22,16
```

```
LSTR,17,19
LSTR,19,21
LSTR,4,19
LSTR,19,12
LSTR,18,20
LSTR,20,22
LSTR,5,20
LTR,20,13
LSEL,S,,,1
LATT,1,,1,,50,,2
LSEL,S,,,2
LATT,1,,1,,50,,2
LSEL,S,,,3
LATT,1,,1,,50,,2
LSEL,S,,,4
LATT,1,,1,,50,,2
LSEL,S,,,5
LATT,1,,1,,51,,2
LSEL,S,,,6
LATT,1,,1,,51,,2
LSEL,S,,,7
LATT,1,,1,,51,,2
LSEL,S,,,8
LATT,1,,1,,51,,2
LSEL,S,,,9
LATT,1,,1,,1,,1
LSEL,S,,,10
LATT,1,,1,,1,,1
LSEL,S,,,11
LATT,11,,1,,1,,1
LSEL,S,,,12
LATT,1,,1,,1,,1
LSEL,S,,,13
LATT,1,,1,,9,,1
LSEL,S,,,14
LATT,1,,1,,9,,1
LSEL,S,,,15
LATT,1,,1,,9,,1
LSEL,S,,,16
LATT,1,,1,,9,,1
```

```
LSEL,S,,,17
LATT,1,,1,,1,,1
LSEL,S,,,18
LATT,1,,1,,1,,1
LSEL,S,,,19
LATT,1,,1,,1,,1
LSEL,S,,,20
LATT,1,,1,,1,,1
LSEL,S,,,21
LATT,1,,1,,6,,1
LSEL,S,,,22
LATT,1,,1,,6,,1
LSEL,S,,,23
LATT,1,,1,,6,,1
LSEL,S,,,24
LATT,1,,1,,6,,1
LSEL,S,,,25
LATT,1,,1,,52,,2
LSEL,S,,,26
LATT,1,,1,,52,,2
LSEL,S,,,27
LATT,1,,1,,52,,2
LSEL,S,,,28
LATT,1,,1,,52,,2
LSEL,S,,,29
LATT,1,,1,,52,,2
LSEL,S,,,30
LATT,1,,1,,52,,2
LSEL,S,,,31
LATT,1,,1,,52,,2
LSEL,S,,,32
LATT,1,,1,,52,,2
LSEL,ALL
LESIZE,ALL,,,10,,,,,,1
LMESH,ALL
ANTYPE,0
DK,1,ALL
DK,6,ALL
DK,9,ALL
```

```
DK,14,ALL
FK,2,FX,10
FK,10,FX,10
FK,3,FX,20
FK,11,FX,20
SFBEAM,1:20,1,PRES,-20
SFBEAM,41:60,1,PRES,-20
SFBEAM,241:320,1,PRES,-30
/SOLU
SOLVE
/POST1
ETABLE,NI,SMISC,1
ETABLE,NJ,SMISC,7
ETABLE,QYI,SMISC,2
ETABLE,QYJ,SMISC,8
ETABLE,QZI,SMISC,3
ETABLE,QZJ,SMISC,9
ETABLE,MXI,SMISC,4
ETABLE,MXJ,SMISC,10
ETABLE,MYI,SMISC,5
ETABLE,MYJ,SMISC,11
ETABLE,MZI,SMISC,6
ETABLE,MZJ,SMISC,12
ETABLE,SMAXI,NMISC,1
ETABLE,SMAXJ,NMISC,3
ETABLE,SMINI,NMISC,2
ETABLE,SMINJ,NMISC,4
FINISH
```

Copy các lệnh trên vào phần mềm Notpad với tên file Vi du 3.12-KKG 2T1N (1) trong thư mục ZBT-ANSYS (3) và đọc vào phần mềm ANSYS qua Read Input from > OK. Khai thác kết quả tính toán như phương thức GUI.

Cách 2: Nhập đặc trưng hình học tiết diện qua lệnh REAL

Đặc trưng hình học của tiết diện:

W24×55: $A=0.0105m^2$, $I_z=5.661\times10^{-4}m^4$, $I_y=1.211\times10^{-5}m^4$ $J_x=5.162\times10^{-7}m^4$

W21×44: $A=8.387\times10^{-3}m^2$, $I_z=3.509\times10^{-4}m^4$, $I_y=8.616\times10^{-6}m^4$ $J_x=3.205\times10^{-6}m^4$

W18×119: $A=0.0226m^2$, $I_z=9.115\times10^{-4}m^4$, $I_y=1.053\times10^{-4}m^4$ $J_x=4.412\times10^{-7}m^4$

```
TITLE,Vidu 3.12-Khung KG2T1N
/PREP7
ET,1,BEAM44
MP,EX,1,2.1E+8
MP,PRXY,1,0.3
```

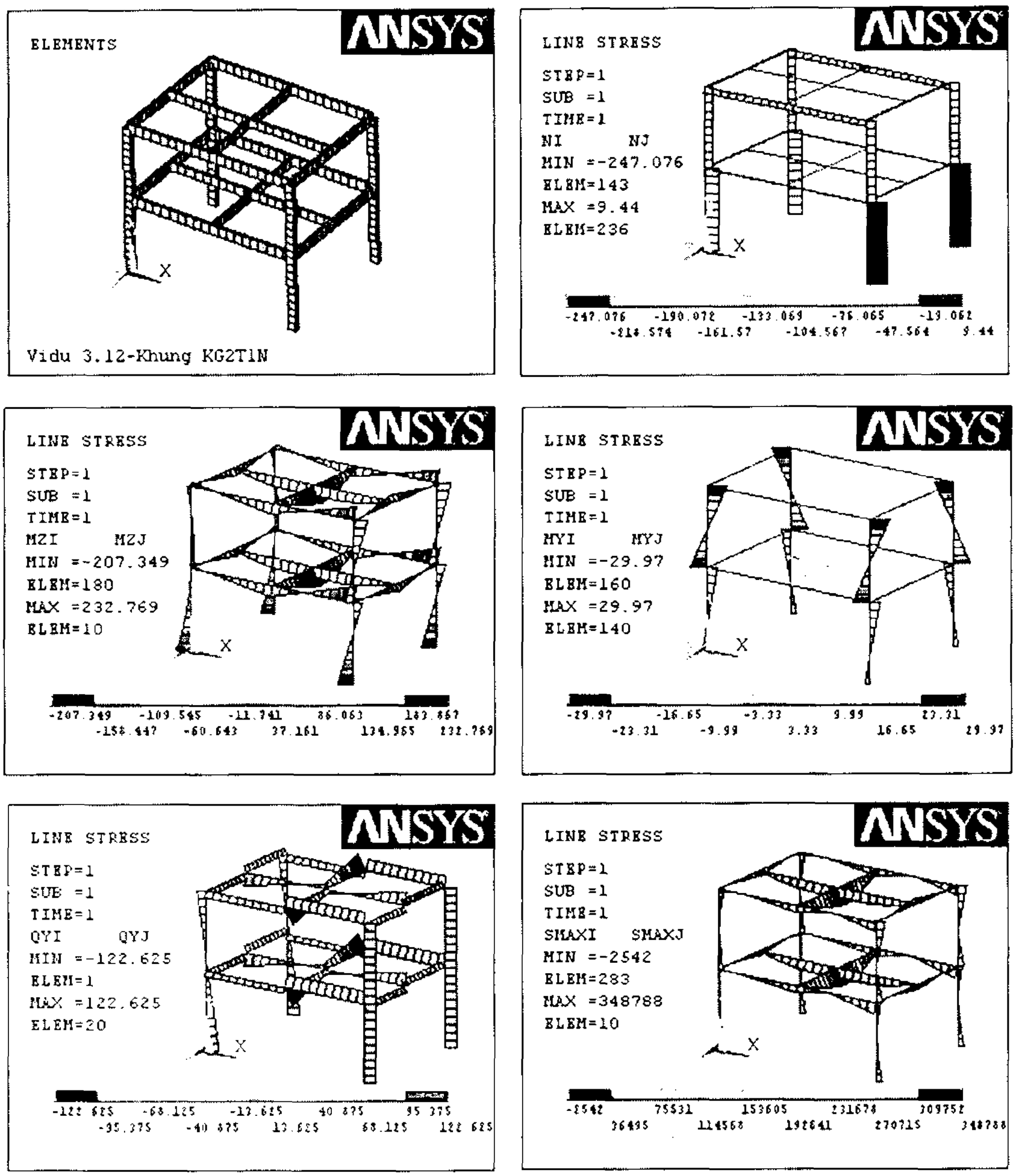
```
R,1,0.0105,5.6616E-4,1.211E-5,0.1781,0.5994,5.1616E-7
R,2,8.387E-3,2.509E-4,8.616E-6,0.1651,0.5258,3.285E-7
R,1,0.0226,9.115E-4,1.053E-5,0.2768,0.4826,4.412E-6
K,1,0,0,0
K,2,0,4,0
K,3,0,8,0
K,50,10,0,0
K,51,10,0,-6
K,52,4,0,-3
KGEN,2,2,3,1,4
KGEN,2,1,3,1,8
KGEN,2,1,9,1,,,-6
KGEN,2,2,5,1,,,-3
KGEN,2,7,8,1,,,-3
TYPE,1
MAT,1
REAL,2
L,4,19
L,19,12
L,17,19
L,19,21
L,5,20
L,20,13
L,18,20
L,20,22
ESIZE,0,10
LMESH,ALL
TYPE,1
MAT,1
REAL,3
L,1,2
L,2,3
L,9,10
L,10,11
L,6,7
L,7,8
L,14,15
L,15,16
ESIZE,0,10
LMESH,ALL
TYPE,1
MAT,1
```

```
REAL,1
L,2,4
L,4,7
L,3,5
L,5,8
L,10,12
L,12,15
L,11,13
L,13,16
L,2,17
L,17,10
L,3,18
L,18,11
L,7,21
L,21,15
L,8,22
L,22,16
ESIZE,0,10
LMESH,ALL
LSEL,ALL
ANTYPE,0
DK,1,ALL
DK,6,ALL
DK,9,ALL
DK,14,ALL
FK,2,FX,10
FK,10,FX,10
FK,3,FX,20
FK,11,FX,20
SFBEAM,1:80,1,PRES,30
SFBEAM,81:120,1,PRES,20
/SOLU
SOLVE
/POST1
ETABLE,NI,SMISC,1
ETABLE,NJ,SMISC,7
ETABLE,QYI,SMISC,2
ETABLE,QYJ,SMISC,8
ETABLE,MYI,SMISC,5
ETABLE,MYJ,SMISC,11
ETABLE,MZI,SMISC,6
ETABLE,MZJ,SMISC,12
```

ETABLE,SMAXI,NMISC,1
ETABLE,SMAXJ,NMISC,3
FINISH

Copy các lệnh trên vào phần mềm Notpad với tên file Vi du 3.12-KKG 2T1N (2) trong thư mục ZBT-ANSYS (3) và đọc vào phần mềm ANSYS qua Read Input from > OK Khai thác kết quả tính toán như phương thức GUI.

Biểu đồ lực dọc N, mômen uốn Mz, mômen uốn My, lực cắt Qy và biểu đồ ứng suất SMAX cho ở hình 3.167. Kết quả tính toán theo cách 2 có khác so với cách 1 một chút do đã bỏ qua số hạng biến dạng do lực cắt trong hằng số thực REAL.

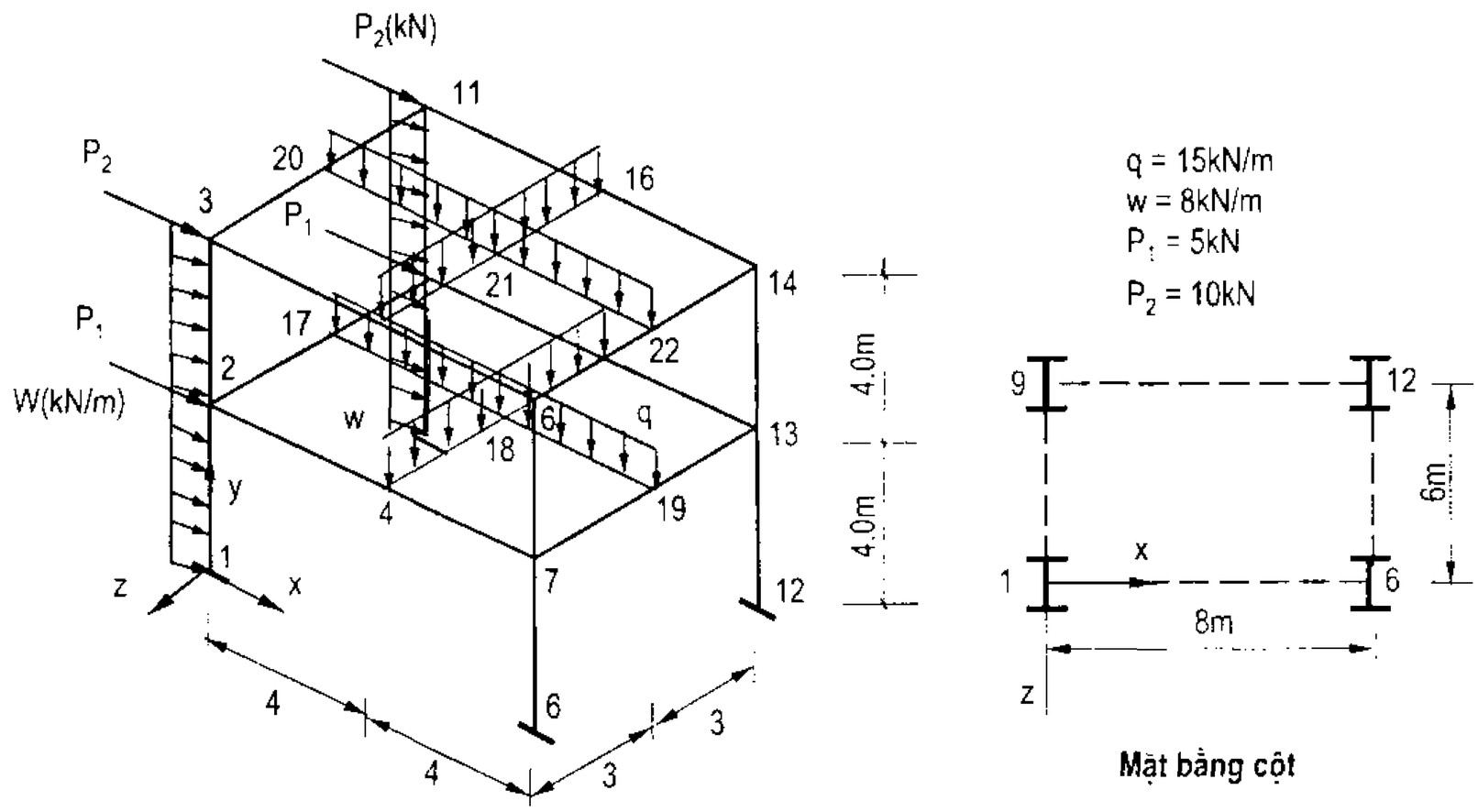


Hình 3.167. *Biểu đồ nội lực và ứng suất*

• **Ví dụ 3.13. Khung không gian 2T1N**

Xác định nội lực của khung không gian 2 tầng 1 nhịp, chân cột liên kết ngàm có sơ đồ tính toán cho ở hình 3.168 . Dầm và cột tiết diện chữ I có kích thước và đặc trưng hình học như Ví dụ 3.12, chỉ khác Ví dụ 3.12 về mặt bằng cột.

Vật liệu thép có mô đun đàn hồi $E = 2.1\times10^8 kN/m^2$, hệ số Poisson $\mu = 0.3$.



Hình 3.168. Sơ đồ tính toán khung

1. Phương thức APDL

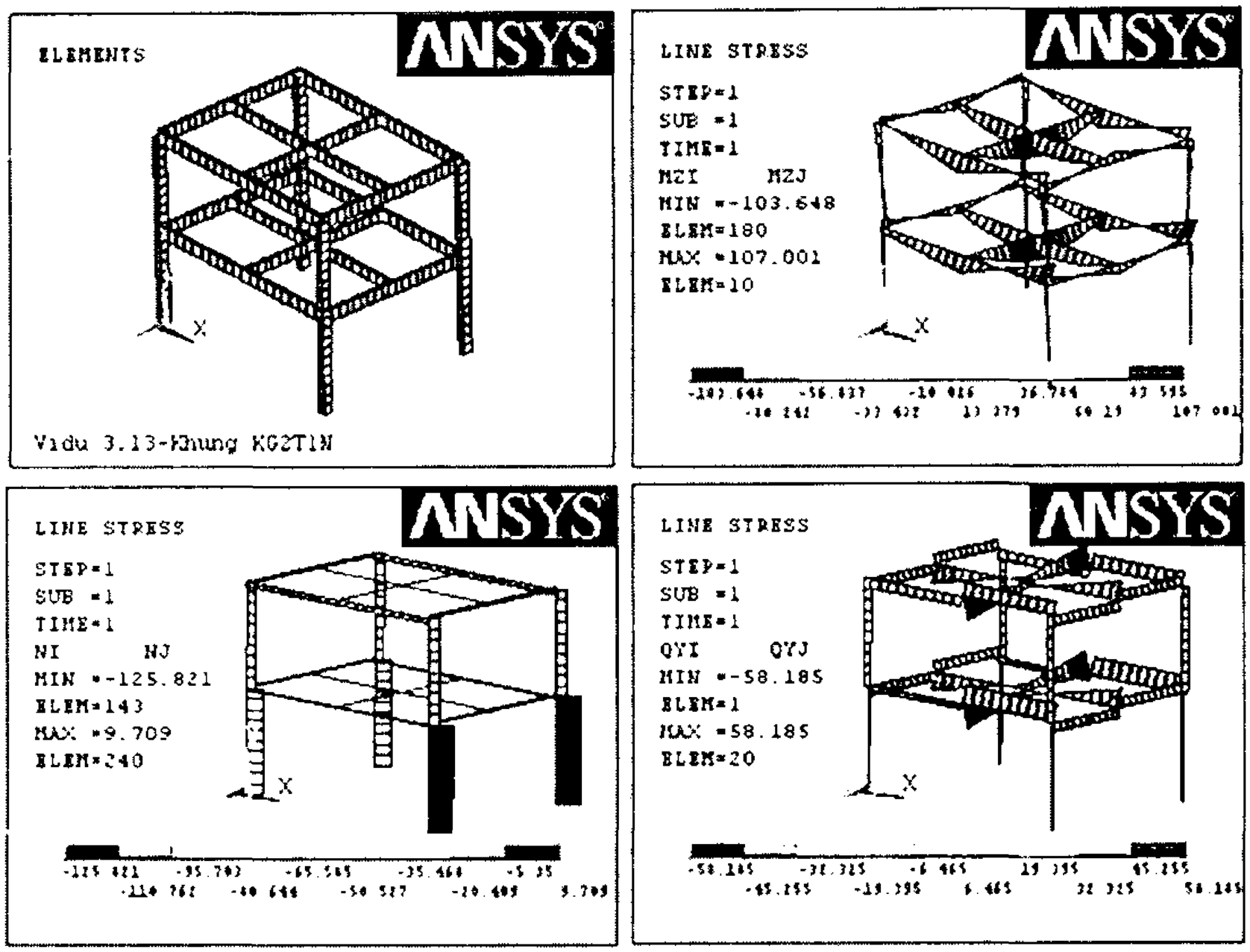
Các lệnh được soạn thảo trong Word theo 2 cách như sau:

```
/TITLE,Vidu 3.13-Khung KG2T1N
/PREP7
ET,1,BEAM44
MP,EX,1,2.1E+8
MP,PRXY,1,0.3
R,1,0.0105,5.6616E-4,1.211E-5,0.1781,0.5994,5.1616E-7
R,2,8.387E-3,2.509E-4,8.616E-6,0.1651,0.5258,3.285E-7
R,3,0.0226,9.115E-4,1.053E-5,0.2768,0.4826,4.412E-6
RMODIF,3,53,90
K,1,0,0,0
K,2,0,4,0
K,3,0,8,0
K,50,10,0,0
K,51,10,0,-6
K,52,4,0,-3
KGEN,2,2,3,1,4
```

```
KGEN,2,1,3,1,8
KGEN,2,1,9,1,,,-6
KGEN,2,2,5,1,,,-3
KGEN,2,7,8,1,,,-3
TYPE,1
MAT,1
REAL,2
L,4,19
L,19,12
L,17,19
L,19,21
L,5,20
L,20,13
L,18,20
L,20,22
ESIZE,0,10
LMESH,ALL
TYPE,1
MAT,1
REAL,3
L,1,2
L,2,3
L,9,10
L,10,11
L,6,7
L,7,8
L,14,15
L,15,16
ESIZE,0,10
LMESH,ALL
TYPE,1
MAT,1
REAL,1
L,2,4
L,4,7
L,3,5
L,5,8
```

```
L,10,12
L,12,15
L,11,13
L,13,16
L,2,17
L,17,10
L,3,18
L,18,11
L,7,21
L,21,15
L,8,22
L,22,16
ESIZE,0,10
LMESH,ALL
LSEL,ALL
ANTYPE,0
DK,1,ALL
DK,6,ALL
DK,9,ALL
DK,14,ALL
FK,2,FX,5
FK,10,FX,5
FK,3,FX,10
FK,11,FX,10
SFBEAM,1:80,2,PRES,15
 SFBEAM,81:120,1,PRES,-8
/SOLU
SOLVE
/POST1
ETABLE,NI,SMISC,1
ETABLE,NJ,SMISC,7
ETABLE,MYI,SMISC,5
ETABLE,MYJ,SMISC,11
ETABLE,MZI,SMISC,6
ETABLE,MZJ,SMISC,12
FINISH
```

Kết quả tính toán lực dọc N, mômen uốn Mz và lực cắt Qy cho ở hình 3.169.



Hình 3.169. Biểu đồ lực dọc, mômen uốn và lực cắt

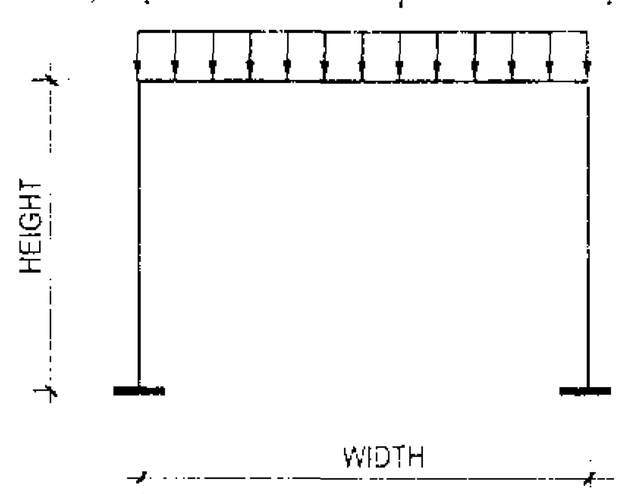
• Ví dụ 3.14. Xây dựng chương trình phân tích khung một tầng một nhịp

Xây dựng chương trình phân tích khung một tầng một nhịp, trong chương trình yêu cầu có thể nhập giá trị chiều cao và bề rộng của khung như hình 3.170, mặt cắt ngang của dầm và cột có thể lựa chọn tùy ý một trong hai loại chữ I và chữ C, vật liệu của khung có thể lựa chọn một trong hai loại cho sẵn. Hai chân khung liên kết ngàm, dầm chịu tải trọng phân bố đều hướng thẳng đứng xuống dưới, yêu cầu trong chương trình có thể nhập giá trị tải trọng phân bố đều tùy ý. Tính toán và vẽ biểu đồ lực dọc và mômen của khung. Trên thanh công cụ tạo các nút chức năng để thực hiện quá trình phân tích khung.

Kích thước mặt cắt ngang chữ I và chữ C: $h=1m$; $h_b=0.8m$; $t_b=0.1m$; $b_c=1m$; $t_c=0.1m$.

Vật liệu 1: $E=19.6\times10^7 kN/m^2$, hệ số Poisson $\mu=0.32$, trọng lượng riêng $\gamma=75\ kN/m^3$

Vật liệu 2: $E=21.0\times10^7 kN/m^2$, hệ số Poisson $\mu=0.29$, trọng lượng riêng $\gamma=78\ kN/m^3$



Hình 3.170. Mô hình khung một tầng một nhịp

Từ ổ đĩa C trên máy tính tạo thư mục C:\Phantichkhung, thư mục này sẽ lưu các file macro thực hiện công năng phân tích phần tử hữu hạn, chương trình phân tích khung một tầng một nhịp bao gồm 9 file macro như dưới đây:

1. Khung_Model.mac: chương trình xây dựng mô hình phần tử hữu hạn khung một tầng một nhịp, xây dựng cửa sổ giao diện với người sử dụng để có thể nhập kích thước hình học của khung, loại vật liệu và loại mặt cắt.

2. Khung_Pres.mac: khởi động chức năng giải (Solution), gán cố định hai chân khung, xây dựng cửa sổ giao diện với người sử dụng để có thể nhập giá trị tải trọng áp lực đồng thời gán lên dầm, sau đó thực hiện chức năng giải (Solve).

3. Khung_Plot_USUM.mac: vẽ hình biến dạng tổng.

4. Khung_Plot_SEQV.mac: vẽ hình ứng suất hiệu quả.

5. Khung_Axis_Force.mac: vẽ biểu đồ lực dọc.

6. Khung_Mx.mac: vẽ biểu đồ mômen theo phương X.

7. Khung_My.mac: vẽ biểu đồ mômen theo phương Y.

8. Khung_Mz.mac: vẽ biểu đồ mômen theo phương Z.

9. Khung_Avi_SEQV.mac: hiển thị động ứng suất hiệu quả.

Dưới đây sẽ lần lượt tạo 9 file macro theo phương pháp sau:

Từ START > Notepad > File > Save > Lưu tên file dưới tên C:\Phantichkhung\KHUNG1T1N.txt và có nội dung như dưới đây:

```
!*****************************************************************
!1. Tao file Khung_Model.mac
*CREATE,Khung_Model,mac
/PMACRO
!~~~
```

```
!Buoc 3: Lua chon vat lieu cua khung
!(1: Vat lieu 1; 2: Vat lieu 2)
*ASK,N_MAT,THE MATERIAL TYPE OF FRAME(1/2),1
*IF,N_MAT,NE,1,AND,N_MAT,NE,2,THEN
/EOF
*ENDIF
!~~~
```

```
K,4,WIDTH/2,0,0
LSTR,1,2
LSTR,2,3
LSTR,4,3
/PNUM,KP,1
/PNUM,LINE,1
/NUMBER,0
GPLOT
K,11,KX(1)+LXYZ(1,1),KY(1)+LXYZ(1,2),KZ(1)+LXYZ(1,3)
K,12,KX(2)+LXYZ(2,1),KY(2)+LXYZ(2,2),KZ(2)+LXYZ(2,3)
K,13,KX(4)+LXYZ(3,1),KY(4)+LXYZ(3,2),KZ(4)+LXYZ(3,3)
LSEL,S,,,1
LATT,N_MAT,,1,,11,,N_SECTION
LSEL,S,,,2
LATT,N_MAT,,1,,12,,N_SECTION
LSEL,S,,,3
LATT,N_MAT,,1,,13,,N_SECTION
LSEL,ALL
*IF,WIDTH,GT,HEIGHT,THEN
LESIZE,ALL,HEIGHT/10,,,,,,1
*ELSE
LESIZE,ALL,WIDTH/10,,,,,,1
*ENDIF
/ESHAPE,1
LMESH,ALL
!~~~
```

```
FINISH
/SOLU
DK,1,,,,0,ALL
DK,4,,,,0,ALL
!~~~
```

```
*END
!*****************************************************************
!5. Tạo file Khung_Axis_Force.mac
*CREATE,Khung_Axis_Force,mac
/VIEW,1,,-1
/ANG,1
/POST1
SET,LAST
ETABLE,FX-I,SMISC,1
ETABLE,FX-J,SMISC,14
PLLS,FX-I,FX-J,1,0
FINISH
*END
!*****************************************************************
!6. Tạo file Khung_Mx.mac
*CREATE,Khung_Mx,mac
/VIEW,1,,-1
/ANG,1
/POST1
SET,LAST
ETABLE,MX-I,SMISC,4
ETABLE,MX-J,SMISC,17
PLLS,MX-I,MX-J,1,0
FINISH
*END
!*****************************************************************
!7. Tạo file Khung_My.mac
*CREATE,Khung_My,mac
/VIEW,1,,-1
/ANG,1
/POST1
SET,LAST
ETABLE,MY-I,SMISC,2
ETABLE,MY-J,SMISC,15
PLLS,MY-I,MY-J,1,0
FINISH
*END
!*****************************************************************
!8. Tạo file Khung_Mz.mac
*CREATE,Khung_Mz,mac
/VIEW,1,,-1
/ANG,1
```

```
/POST1
SET,LAST
ETABLE,MZ-I,SMISC,3
ETABLE,MZ-J,SMISC,16
PLLS,MZ-I,MZ-J,1,0
FINISH
*END
!*****************************************************************
!9. Tạo file Khung_Avi_SEQV.mac
*CREATE,Khung_Avi_SEQV,mac
/VIEW,1,,-1
/ANG,1
/POST1
SET,LAST
PLNSOL,S,EQV
ANCNTR,10,0.1
FINISH
*END
!*****************************************************************
```

Sau khi tạo file KHUNG1T1N.txt với nội dung như trên, khởi động phần mềm ANSYS, tiếp đến nhấn File > Read Input from > Xuất hiện bảng Read File > Nhấn chuột vào C:\ Chọn thư mục Phan tich khung ở cửa sổ phải > Chọn file KHUNG1T1N.txt ở cửa sổ trái > Nhấn OK > File dữ liệu sẽ được đưa vào phần mềm ANSYS. Kiểm tra trong thư mục C:\Phan tichkhung sẽ thấy xuất hiện 9 file có đuôi mở rộng là *.mac. Từ đây có thể đọc lần lượt các file này để hoàn thành công việc phân tích khung. Để công việc phân tích khung được thuận tiện nhanh chóng, có thể thêm các nút ở trên thanh công cụ để thực hiện các file macro.

Chỉnh sửa file hệ thống ANSYS từ đường dẫn C:\Program Files > ANSYS Inc > v110 > ANSYS > APDL > start110.ans (tức là file khởi động trong đường dẫn cài đặt ANSYS), mở file start110.ans bằng phần mềm WordPad, phía cuối cùng của file này thêm một số dòng lệnh, trong đó sử dụng mệnh lệnh /PSEARCH để chỉ định đường dẫn đến các file macro phân tích khung, ngoài ra sử dụng mệnh lệnh *ABBR để tạo các nút liên kết với các file macro. Cuối cùng lưu đè lên file start110.ans đã có sẵn.

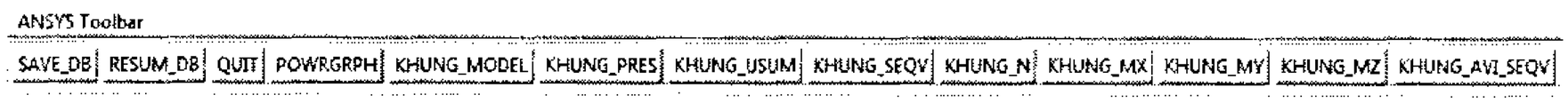
```
/PSEARCH,C:\Phantichkhung
*ABBR,KHUNG_MODEL,Khung_Model
*ABBR,KHUNG_PRES,Khung_Pres
*ABBR,KHUNG_USUM,Khung_Plot_USUM
*ABBR,KHUNG_SEQV,Khung_Plot_SEQV
*ABBR,KHUNG_N,Khung_Axis_Force
*ABBR,KHUNG_MX,Khung_Mx
```

*ABBR,KHUNG_MY,Khung_My

*ABBR,KHUNG_MZ,Khung_Mz

*ABBR,KHUNG_AVI_SEQV,Khung_AVI_SEQV

Sau khi khởi động ANSYS11.0, thanh công cụ trên màn hình đồ họa xuất hiện thêm 9 nút như hình 3.171.

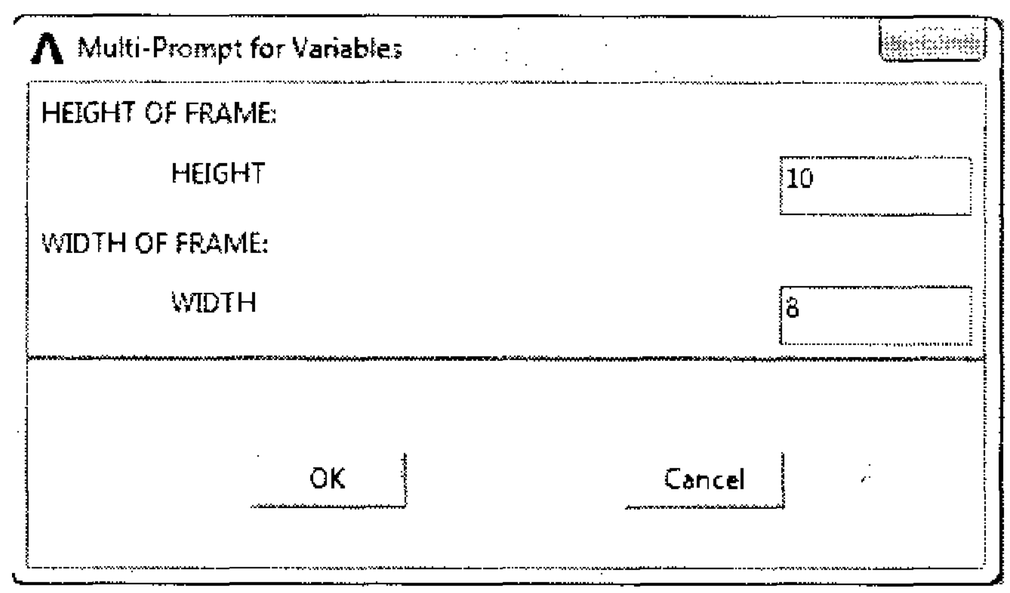


Hình 3.171. *Thanh công cụ ANSYS*

Dưới đây sẽ biểu diễn quá trình thao tác chương trình phân tích khung một tầng một nhịp.

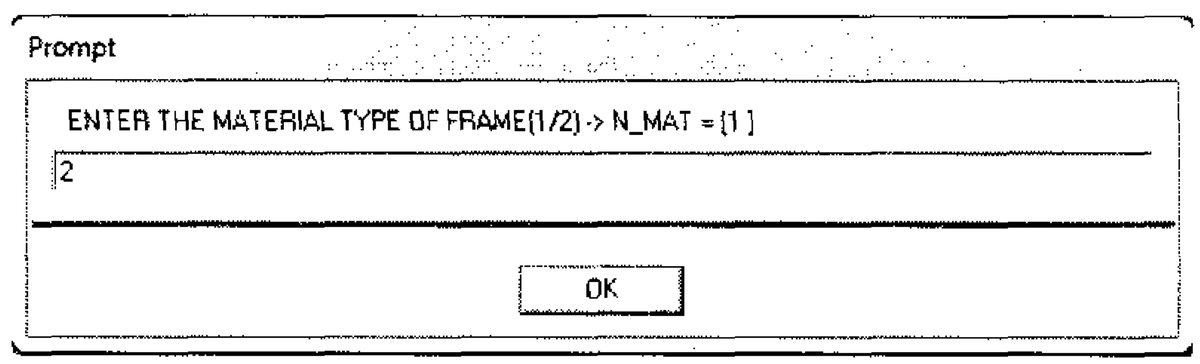
(1) Xây dựng mô hình và giải bài toán

- *Nhập kích thước khung*: Nhấn nút KHUNG_MODEL trên thanh công cụ, xuất hiện cửa sổ nhập chiều cao và bề rộng của khung như hình 3.172, lần lượt nhập giá trị chiều cao và bề rộng của khung, nhấn OK để tiếp tục các bước tiếp theo.



Hình 3.172. *Cửa sổ nhập chiều cao và bề rộng của khung*

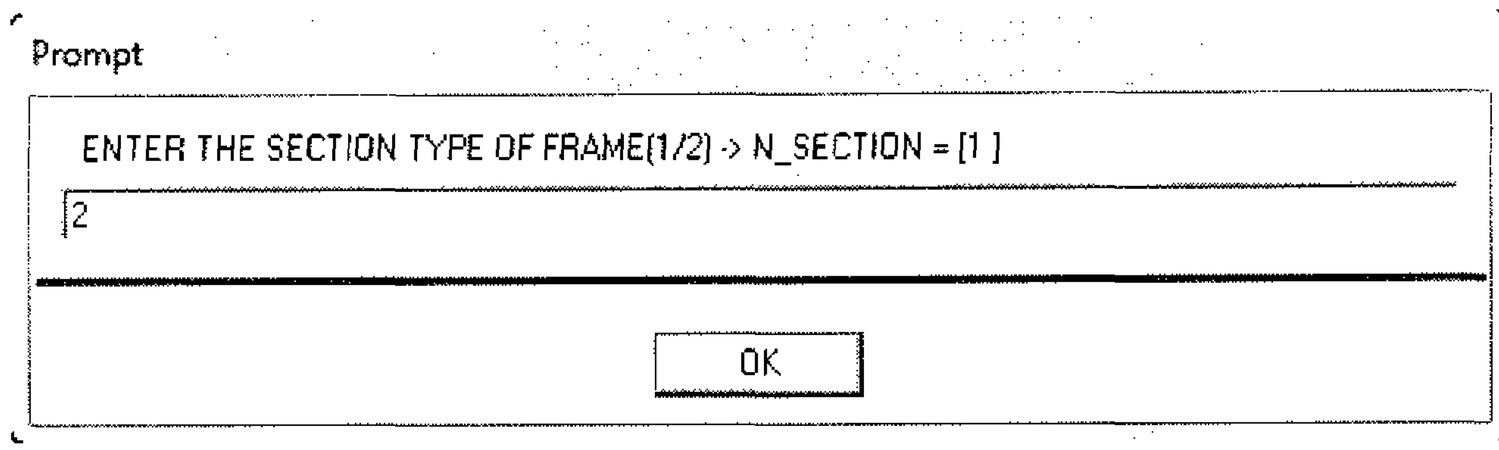
- *Chọn loại vật liệu:* Tiếp theo xuất hiện cửa sổ nhập lựa chọn loại hình vật liệu của khung như hình 3.173, chỉ có thể nhập 1 hoặc 2, còn không chương trình sẽ ngừng vận hành, nhấn OK để tiếp tục các bước tiếp theo.



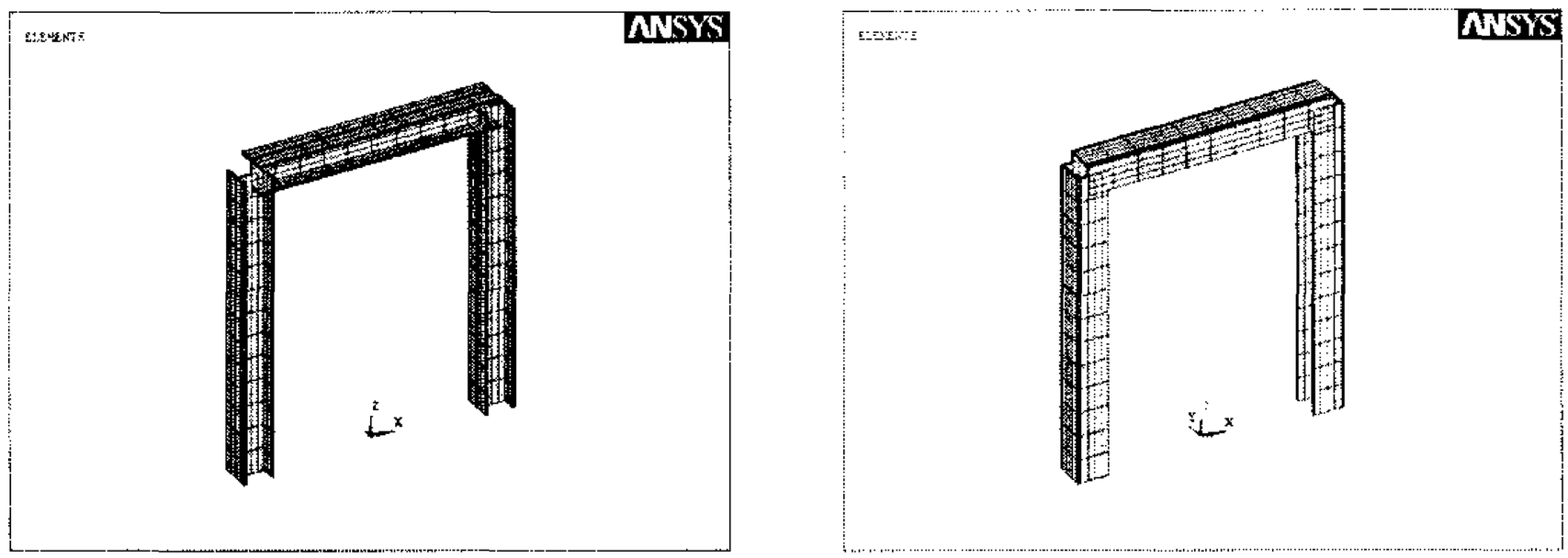
Hình 3.173. *Cửa sổ nhập lựa chọn loại hình vật liệu của khung*

- *Chọn loại tiết diện:* Tiếp theo xuất hiện cửa sổ nhập lựa chọn loại hình mặt cắt của khung như hình 3.174, chỉ có thể nhập 1 (mặt cắt hình I) hoặc 2 (mặt cắt hình C), còn không chương trình sẽ ngừng vận hành. Nếu nhập giá trị là 1, nhấn OK sẽ được khung

có mặt cắt hình chữ I như hình 3.175a, nếu nhập giá trị là 2, nhấn OK sẽ được khung có mặt cắt hình chữ C như hình 3.175b.



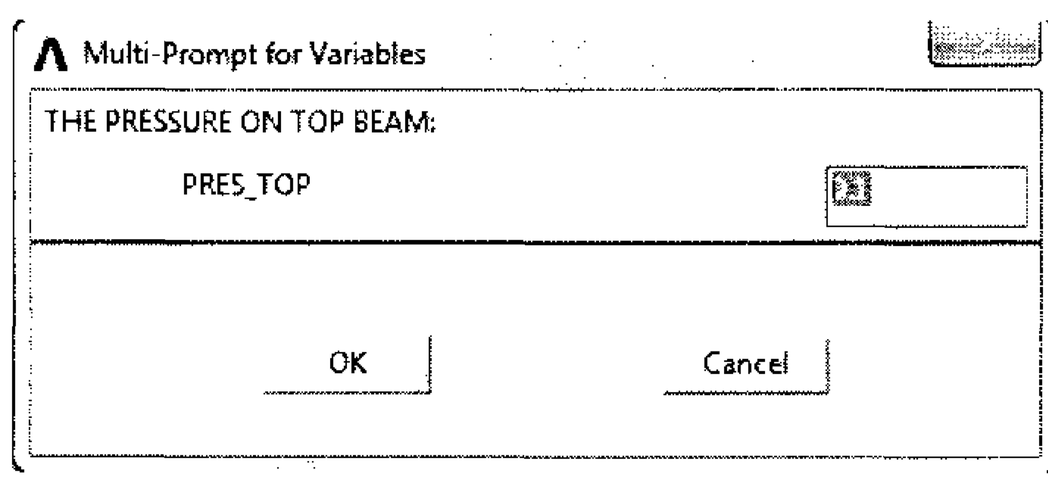
Hình 3.174. *Cửa sổ nhập lựa chọn loại hình mặt cắt ngang của khung*



(a) Khi lựa chọn mặt cắt loại 1 *(b) Khi lựa chọn mặt cắt loại 2*

Hình 3.175. *Khung một tầng một nhịp có loại hình mặt cắt ngang không giống nhau*

- *Gán điều kiện biên, tải trọng và giải*: Nhấn nút KHUNG_PRES trên thanh công cụ, xuất hiện cửa sổ nhập giá trị tải trọng áp lực lên dầm (nhập giá trị dương tức là theo hướng thẳng đứng xuống phía dưới) như hình 3.176. Sau khi nhập tải trọng, nhấn OK chương trình tự động chuyển sang quá trình giải.

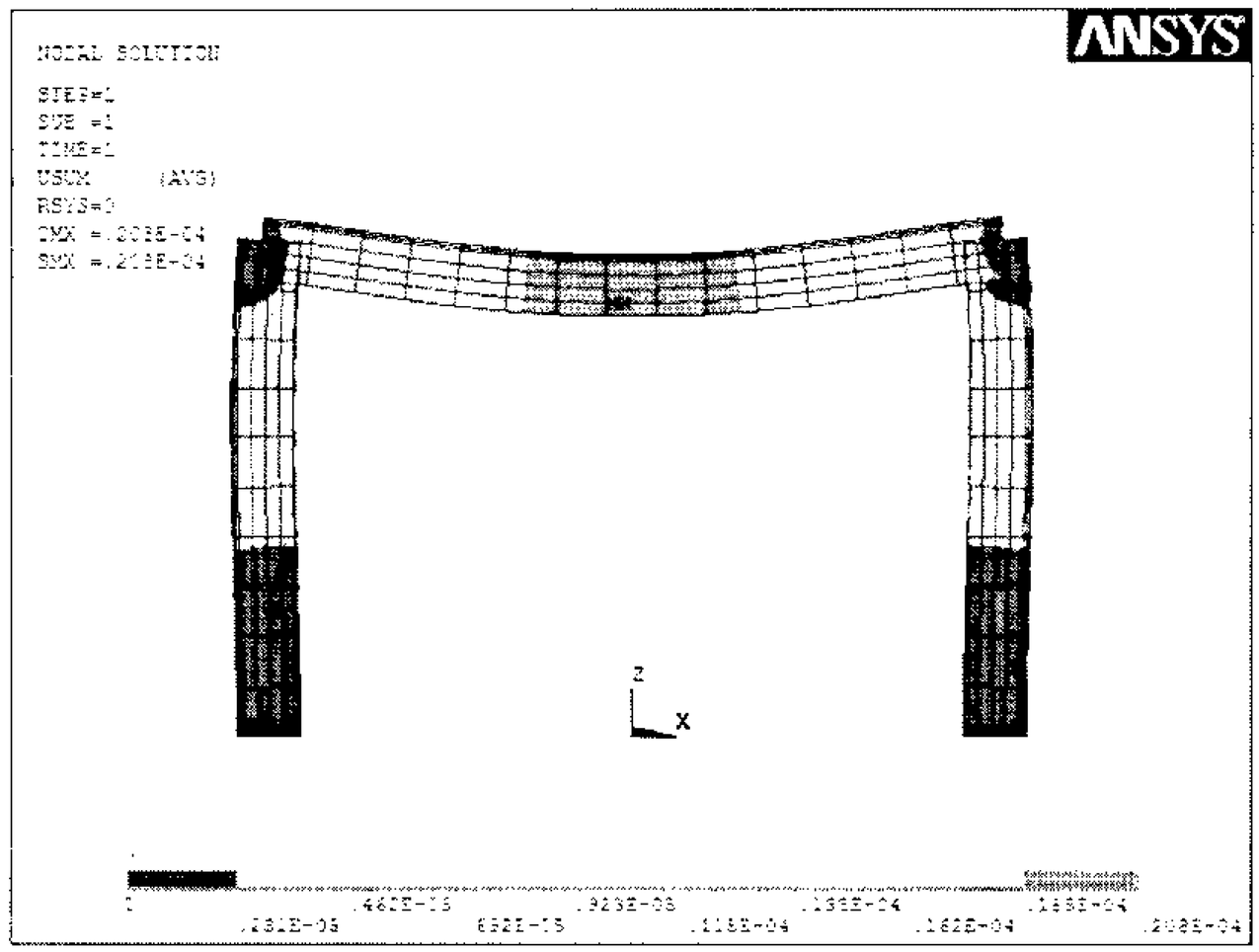


Hình 3.176. *Cửa sổ nhập giá trị tải trọng*

(2) Khai thác kết quả

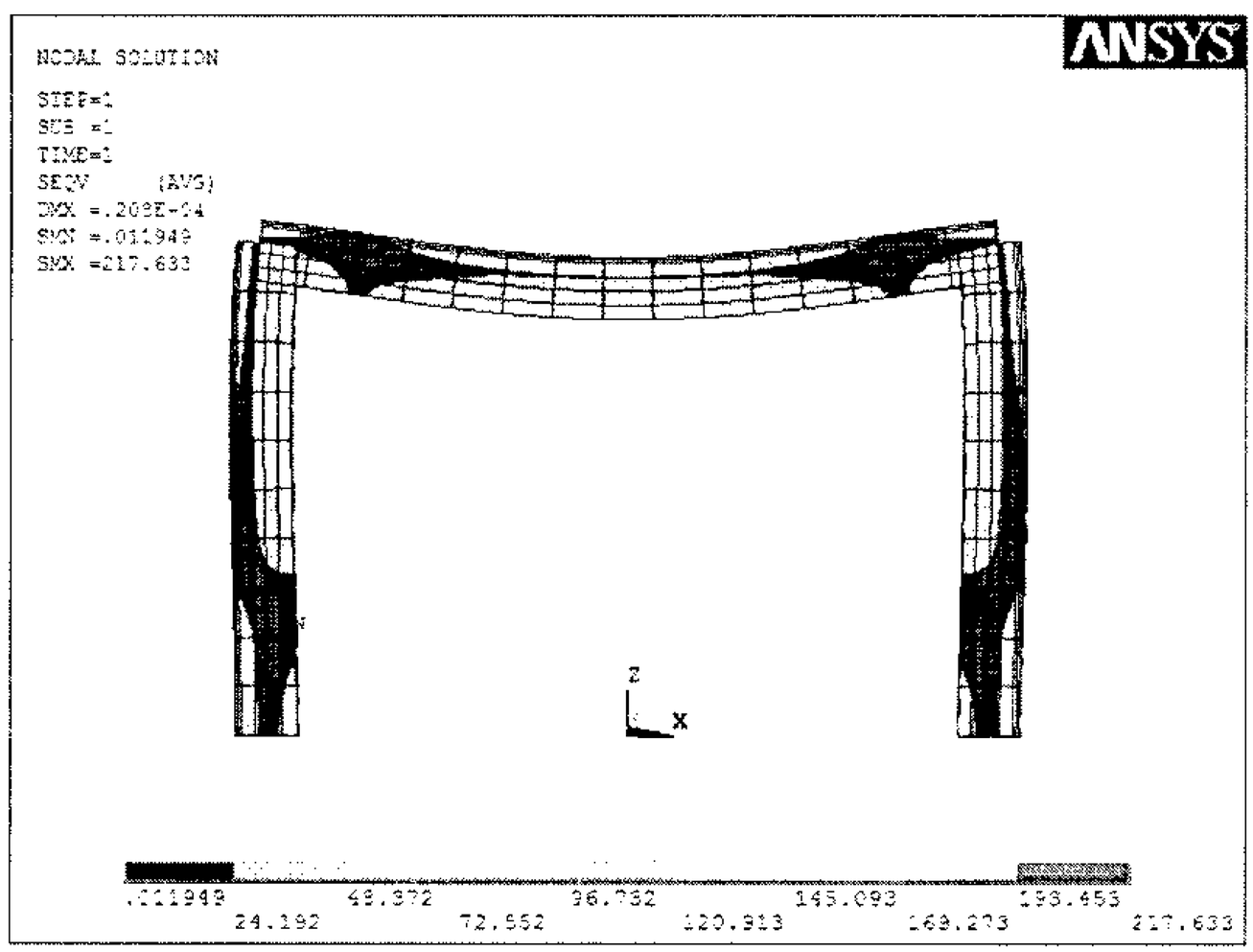
Dưới đây trình bày kết quả tính toán trong trường hợp chiều cao khung 8m, bề rộng khung 12m, lựa chọn vật liệu 2, mặt cắt ngang khung loại 2, tải trọng phân bố đều $1T/m^2$. Thao tác xử lý kết quả của chương trình bao gồm 7 loại:

- *Chuyển vị tổng*: Nhấn nút KHUNG_USUM trên thanh công cụ cho kết quả chuyển vị tổng của khung như hình 3.177.



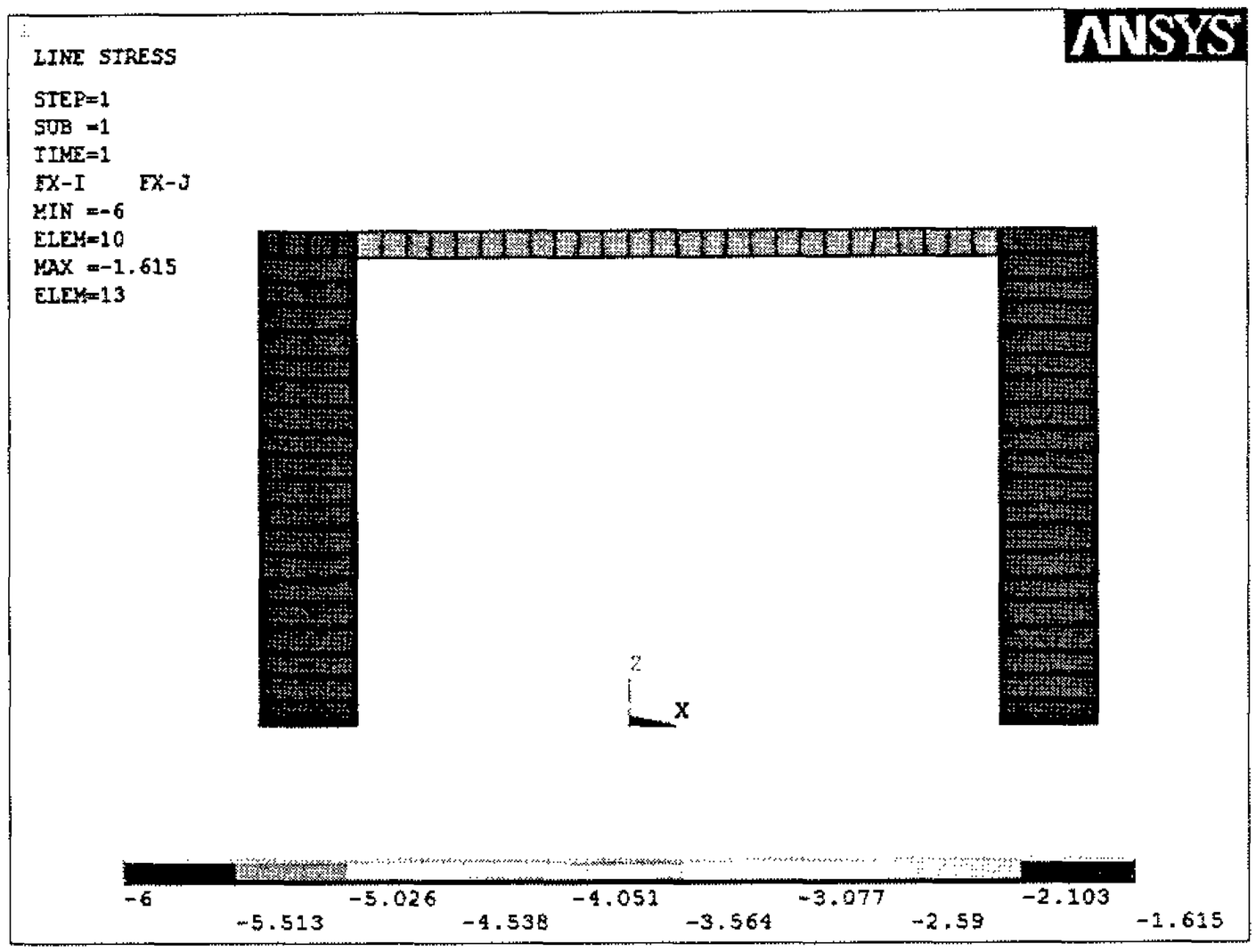
Hình 3.177. *Chuyển vị tổng của khung*

- *Ứng suất hiệu quả*: Nhấn nút KHUNG_SEQV trên thanh công cụ cho kết quả ứng suất hiệu quả của khung như hình 3.178.



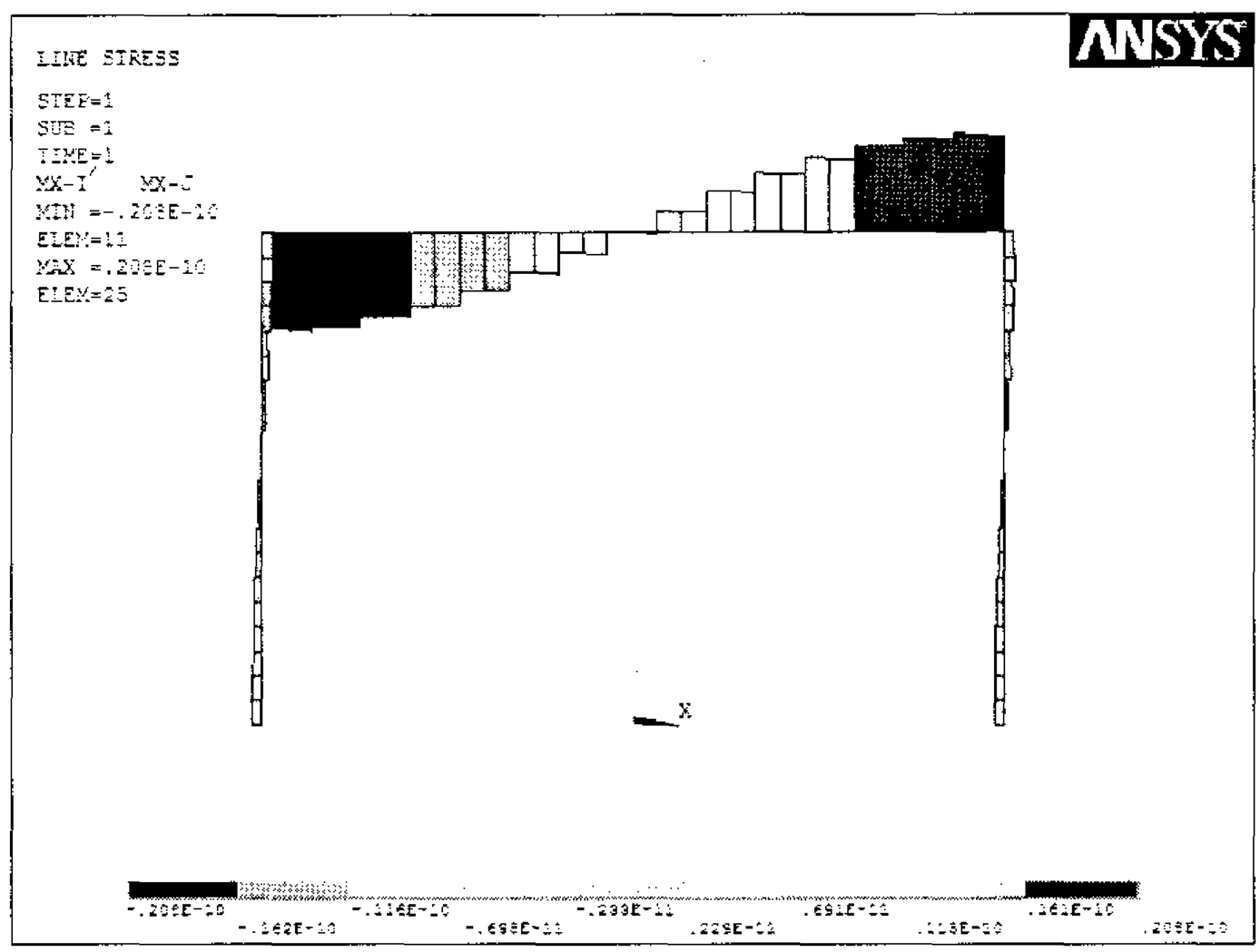
Hình 3.178. *Ứng suất hiệu quả của khung*

- *Biểu đồ lực dọc*: Nhấn nút KHUNG_N trên thanh công cụ cho kết quả biểu đồ lực dọc của khung như hình 3.179.



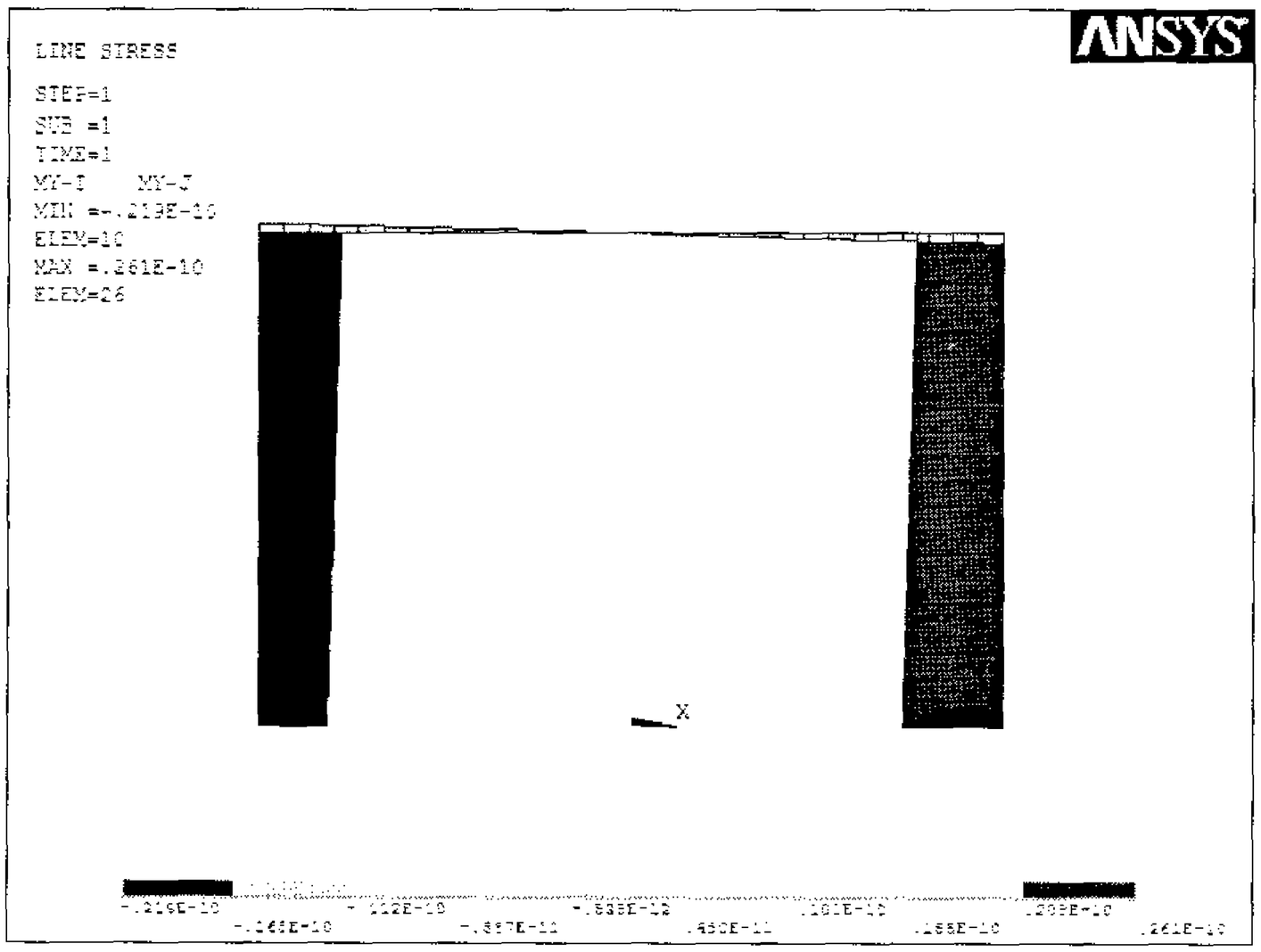
Hình 3.179. *Biểu đồ lực dọc của khung*

- *Biểu đồ mômen theo phương X*: Nhấn nút KHUNG_MX trên thanh công cụ cho kết quả biểu đồ mômen theo phương X của khung như hình 3.180.



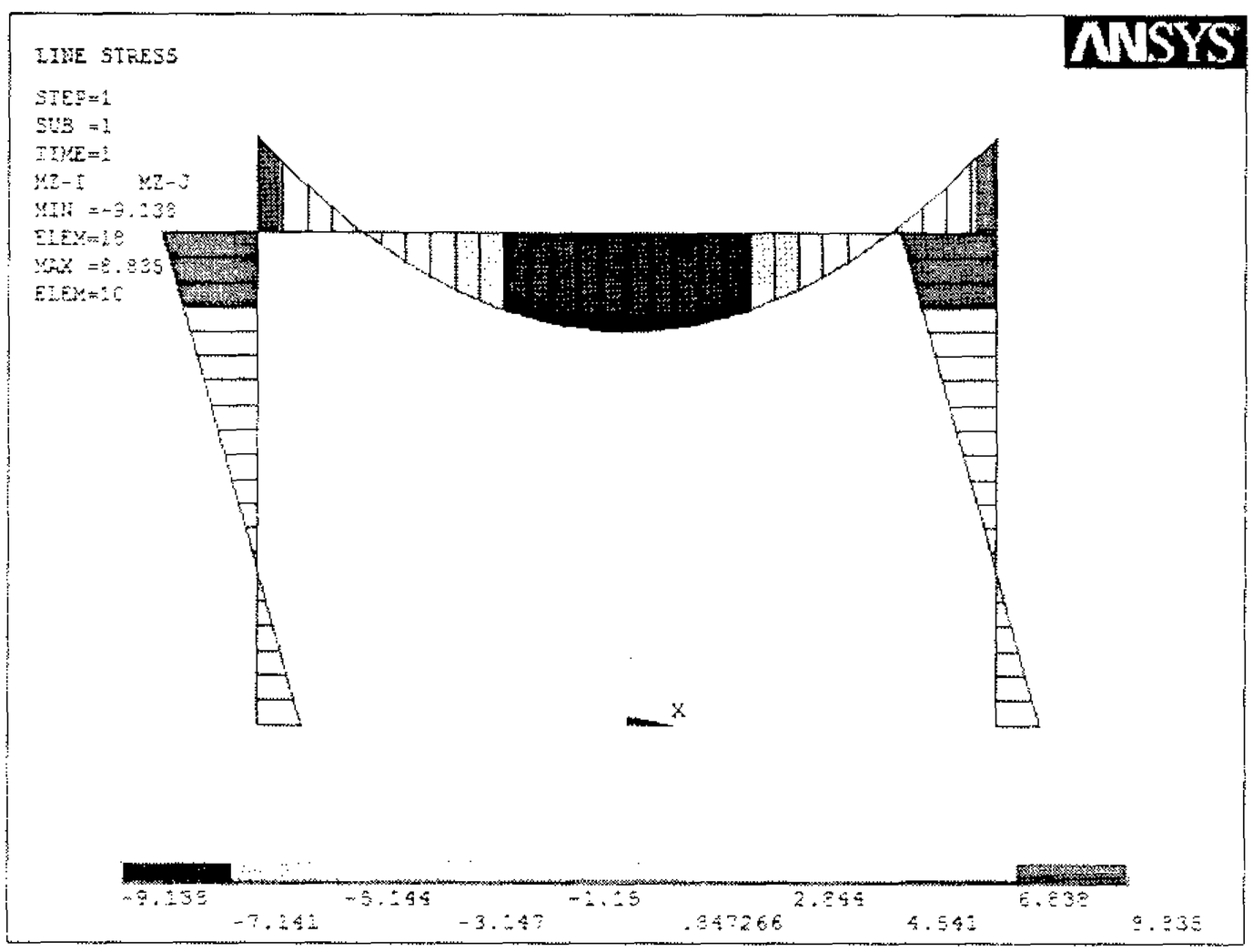
Hình 3.180. *Biểu đồ mômen theo phương X của khung*

- *Biểu đồ mômen theo phương Y*: Nhấn nút KHUNG_MY trên thanh công cụ cho kết quả biểu đồ mômen theo phương Y của khung như hình 3.181.



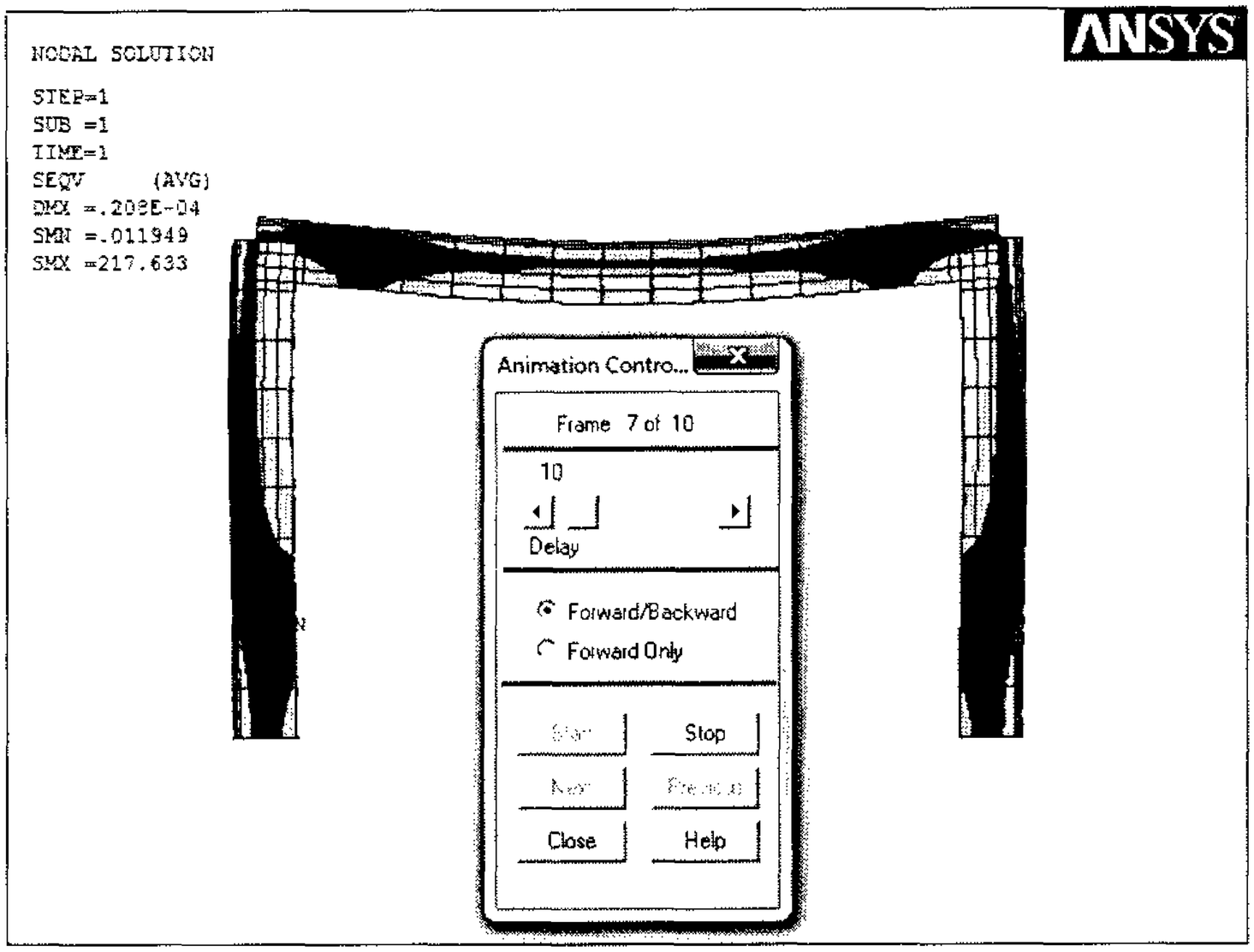
Hình 3.181. *Biểu đồ mômen theo phương Y của khung*

- *Biểu đồ mômen theo phương Z*: Nhấn nút KHUNG_MZ trên thanh công cụ cho kết quả biểu đồ mômen theo phương Z của khung như hình 3.182.



Hình 3.182. *Biểu đồ mômen theo phương Z của khung*

- Biểu diễn hình động ứng suất hiệu quả của khung: Nhấn nút KHUNG_AVI_SEQV trên thanh công cụ để xem hình động ứng suất hiệu quả của khung như hình 3.183.



Hình 3.183. *Khống chế hình chuyển động của khung*

Chương 4
BÀI TOÁN PHẲNG

4.1. KHÁI QUÁT VỀ BÀI TOÁN PHẲNG

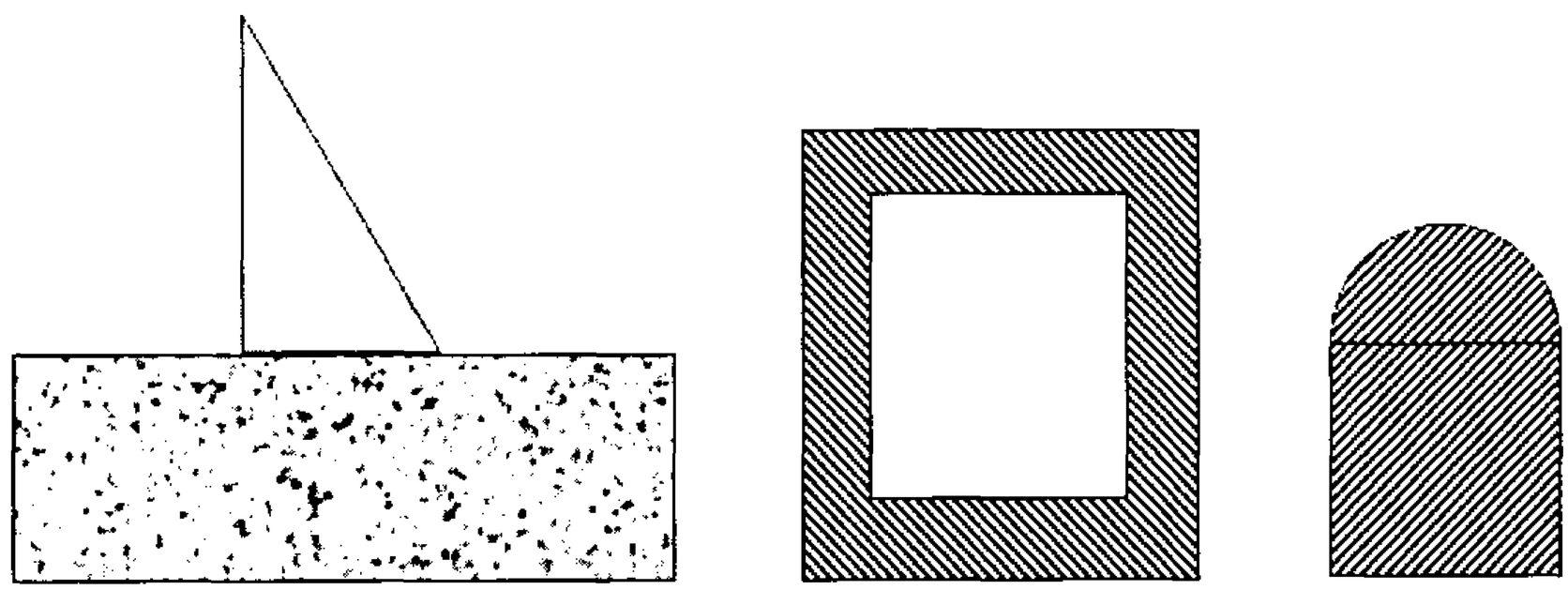
4.1.1. Bài toán phẳng

Vật thể được giới hạn bởi 2 mặt phẳng song song có chiều dày rất nhỏ so với hai cạnh kia được gọi là vật thể phẳng, khi lực tác dụng song song với mặt vật thể và phân bố đều theo chiều dày được gọi là bài toán phẳng. Trên 2 mặt khi ứng suất theo phương pháp tuyến với mặt $\sigma z = 0$ gọi là bài toán ứng suất phẳng, còn khi biến dạng $\varepsilon z = 0$ được gọi là bài toán biến dạng phẳng.

4.1.2. Xây dựng mô hình hình học bài toán phẳng

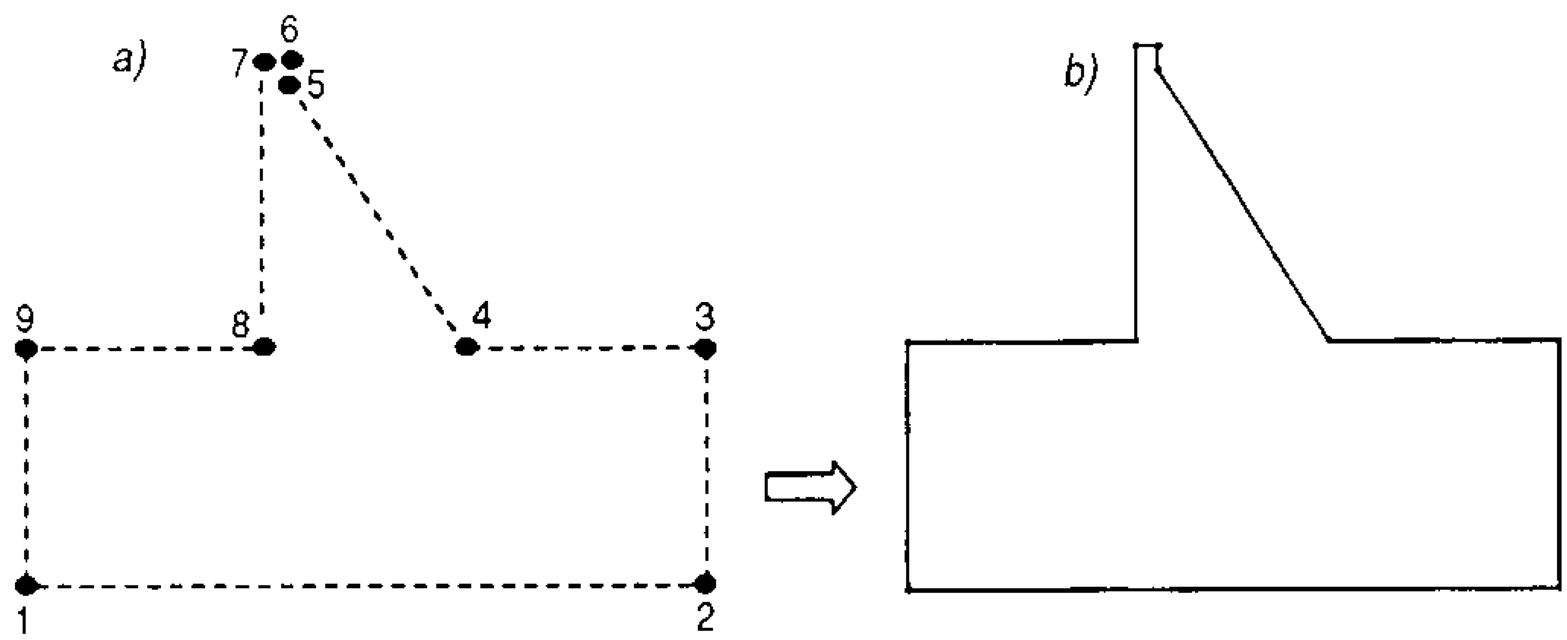
Hai phương thức thường dùng để tạo ra kết cấu phẳng trong công trình:

Phương thức 1: Kết hợp các hình dạng cơ bản đã được định nghĩa trước trong ANSYS như hình chữ nhật, tròn, tam giác và các hình đa giác. Ví dụ như kết cấu đập và nền, cống ngầm, hình dạng hành lang đập cho ở hình 4.1 được tạo ra bằng cách kết hợp từ hình chữ nhật, hình tam giác, hình tròn.

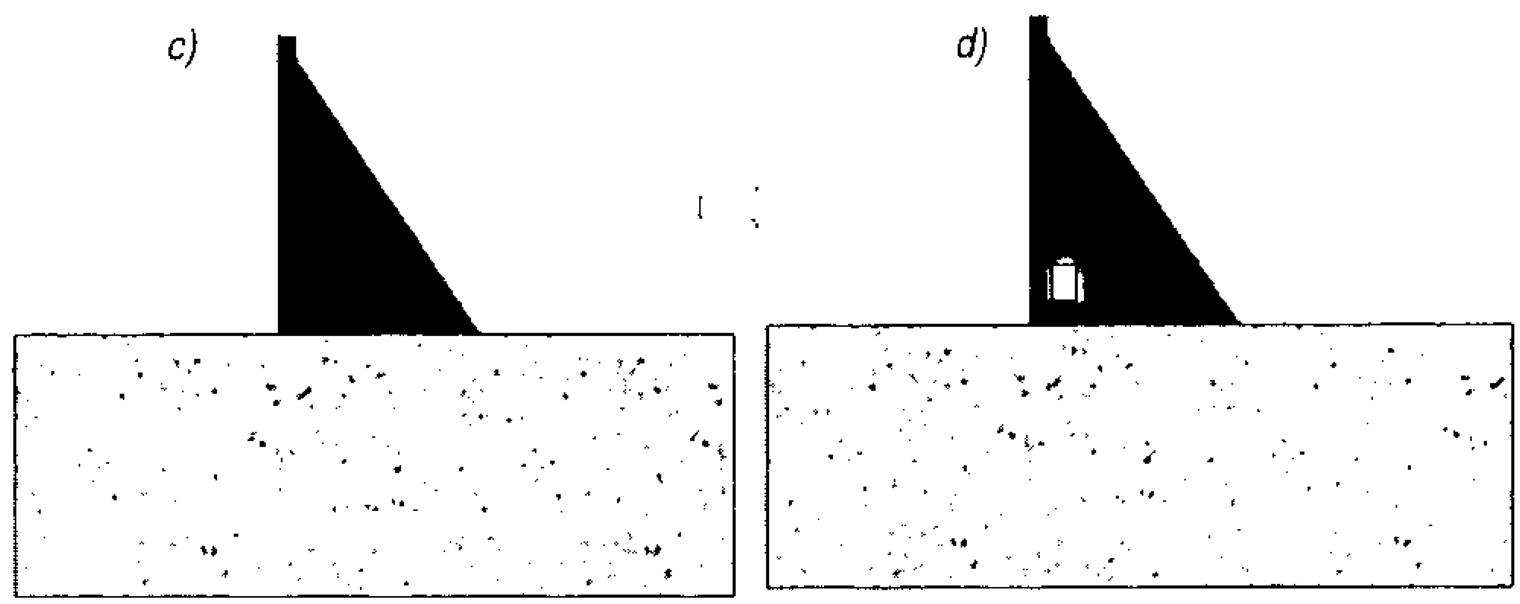


Hình 4.1. Mô hình hóa theo phương thức 1

Phương thức 2: Xây dựng mô hình bắt đầu được tạo ra từ các điểm, rồi tiếp đến vẽ các đường và các mặt. Ví dụ như đập trọng lực có hành lang quan trắc và nền cho ở hình 4.2 được mô hình hóa theo trình tự sau: a) Tạo các nút theo đường chu vi đập và nền; b) Vẽ đường chu vi đập và nền; c) Tạo mặt cắt ngang đập và nền; d) Khoét lỗ tạo hành lang đập.



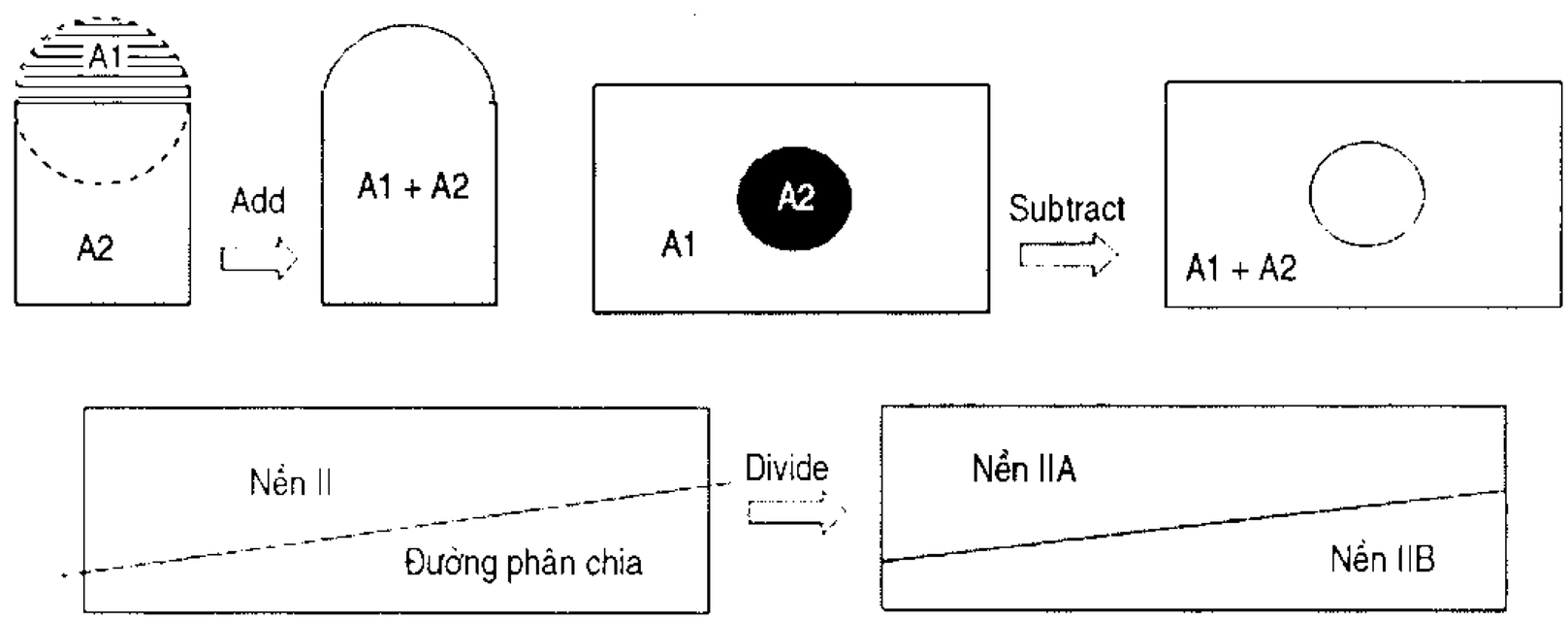
Mô hình hóa đập - Bước a và b



Hình 4.2. *Trình tự các bước mô hình hóa đập trọng lực có hành lang*

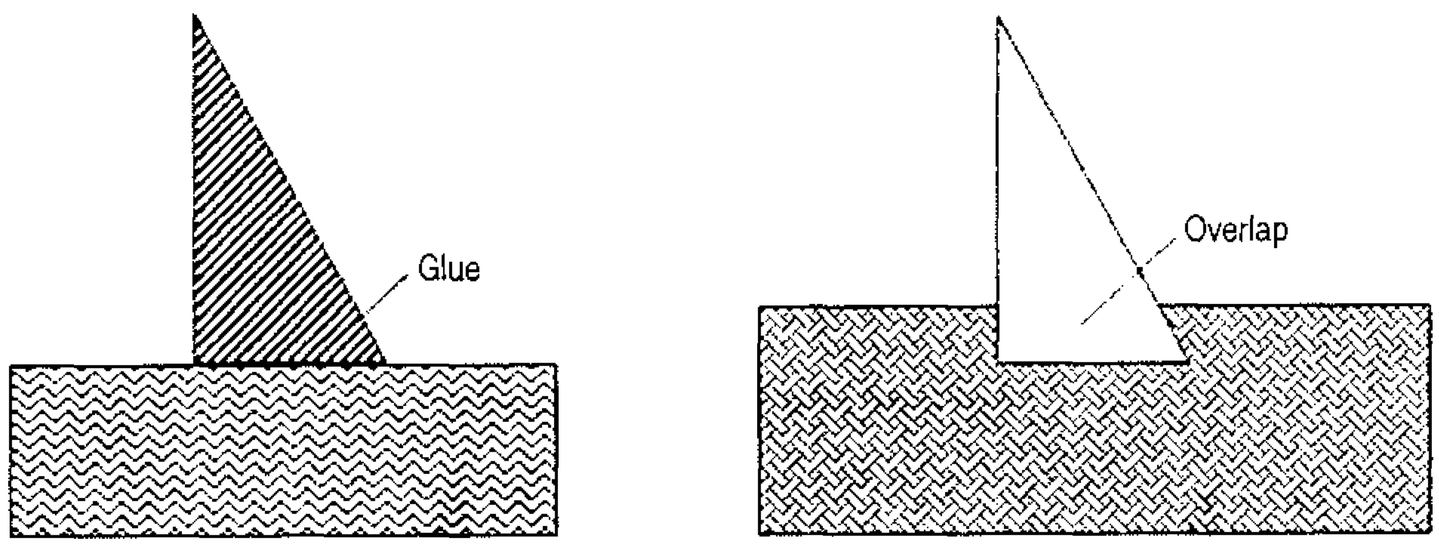
Một số điểm cần lưu ý khi xây dựng mô hình bài toán phẳng:

(1) Khi xây dựng mô hình hình học theo hai phương thức trên cần sử dụng các phép toán Boole, đó là các phép toán cho phép kết hợp giữa các hình có hình dạng khác nhau. Các phép toán Boole của ANSYS gồm có: Add (hợp), Subtract (trừ), Intersect (giao), Divide (chia), Glue (dán) và Overlap (chồng lên). Dưới đây là một vài ví dụ cho ở hình 4.3.



Hình 4.3. *Phép cộng, trừ và chia hai vật thể*

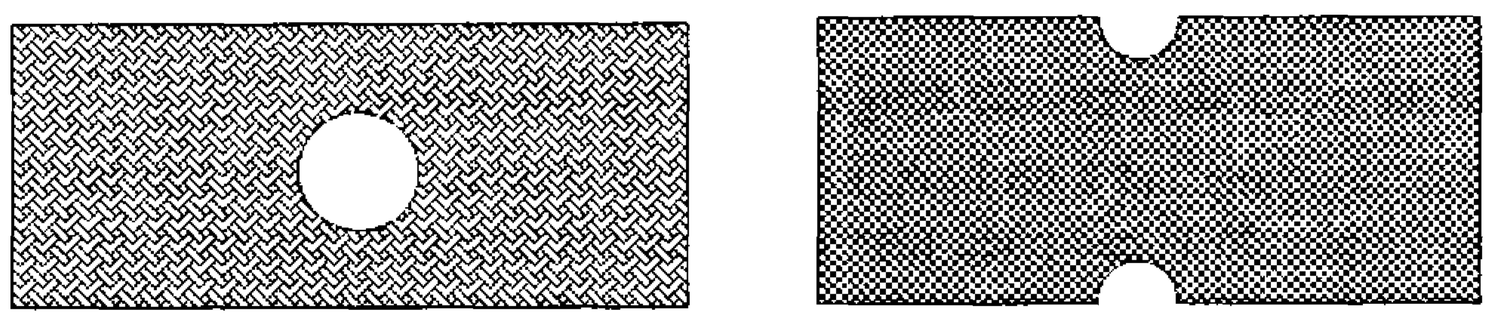
(2) Với bài toán phẳng gồm nhiều miền có vật liệu khác nhau, khi xây dựng mô hình cần phải tạo các đường (Line) chung giữa các miền, với bài toán được ghép bởi các hình có sẵn trong ANSYS thì phải dùng phép dán (Glue) hoặc dùng phép chồng (Overlap) của phép toán Boole, thì khi chia mạng lưới các nút lưới mới liên tục giữa hai miền và bài toán khi giải không bị suy biến. Chẳng hạn như hai ví dụ sau đây:



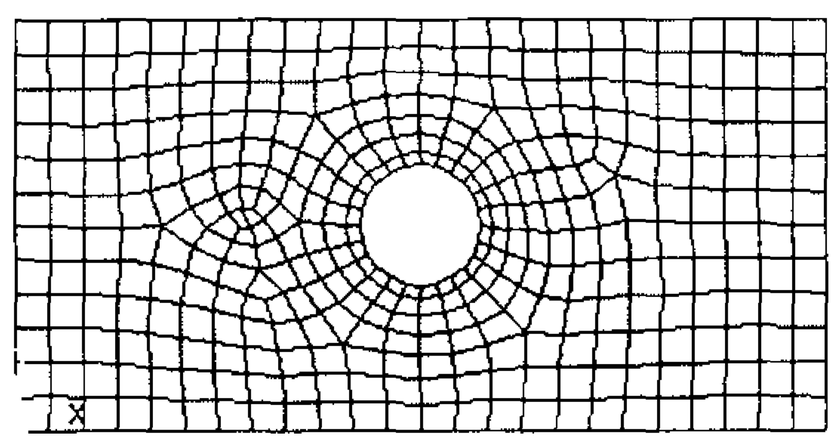
Hình 4.4. *Tạo đường biên chung giữa hai miền có vật liệu thuộc tính khác nhau*

(3) Phải gán thuộc tính của vật liệu cho từng miền trước khi chia lưới phần tử.

(4) Có hai cách chia mạng lưới phần tử, một là chia tự do theo kích thước chiều dài cạnh phần tử, hai là chia theo mạng lưới đường biên của bài toán. Cách chia thứ hai này dễ dàng tạo kích thước mạng lưới gần vị trí tập trung ứng suất có lưới nhỏ hơn nơi xa vùng tập trung ứng suất. Ví dụ như tấm chữ nhật có lỗ khoét tròn ở giữa hoặc hai bên như ở hình 4.5, được mô hình hóa theo cách thứ hai hợp lý hơn, mạng lưới phần tử của hai tấm khoét lỗ này cho ở hình 4.6 và 4.7 và sẽ được trình bày cụ thể trong ví dụ 4.2.

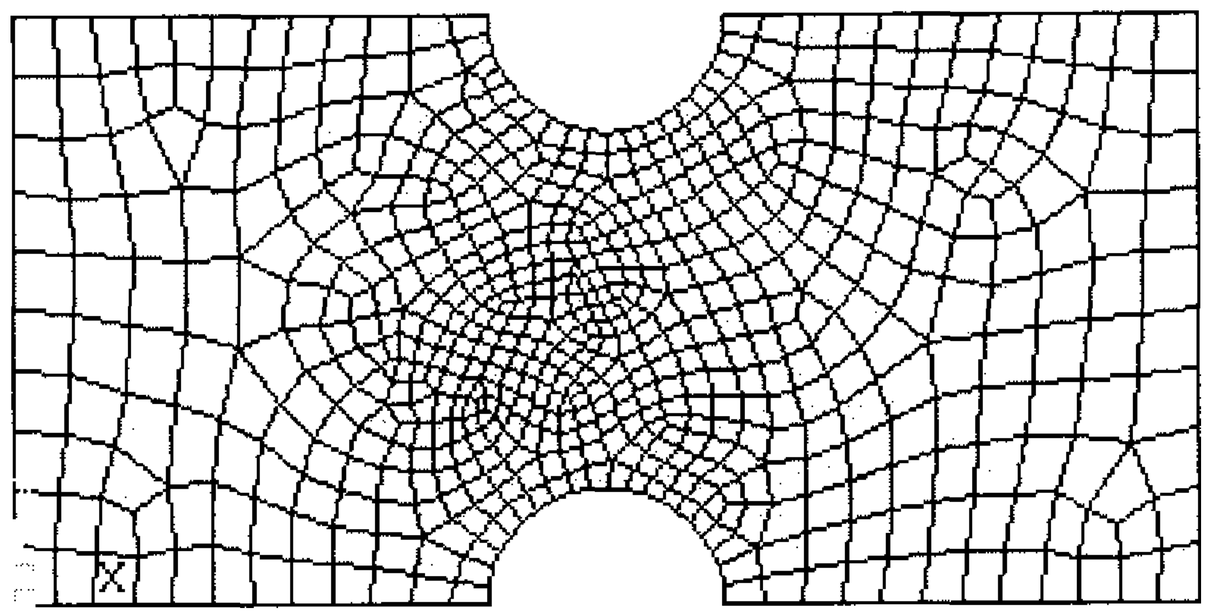


Hình 4.5. *Tấm chữ nhật có lỗ khoét tròn*



Hình 4.6. *Mạng lưới phần tử của tấm chữ nhật có lỗ khoét tròn ở giữa*

(5) Khi xây dựng mô hình có đường biên cong coi như tập hợp bởi các đoạn thẳng nhỏ, mã các điểm nút cần được đánh số thứ tự tăng dần với gia số bằng 1, để thuận tiện cho việc sử dụng phương thức lệnh như đã thực hiện trong Ví dụ 4.4-Đập tràn có cửa van, mặt cắt đập tràn có thân đập và lõi đập bằng vật liệu khác nhau.



Hình 4.7. *Mạng lưới phần tử của tấm chữ nhật có lỗ khoét tròn ở hai bên*

(6) Khi thao tác các chức năng của ANSYS nên kết hợp dùng chuột và lệnh sẽ có hiệu quả hơn, đặc biệt là với bài toán không gian như đã sử dụng khi giải các bài toán ở chương 3.

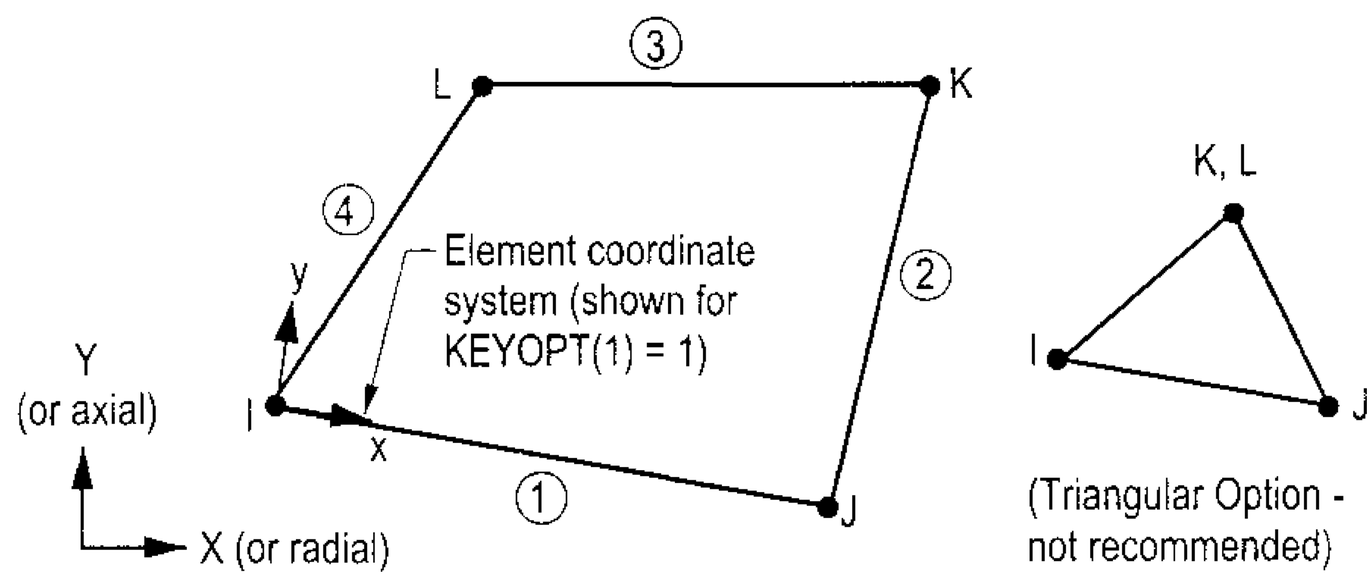
4.2. PHẦN TỬ PHẲNG (PLANE)

Phần tử phẳng trong ANSYS về hình dạng có thể chia thành 3 loại là phần tử tam giác, phần tử tứ giác, phần tử tứ giác và trường hợp đặc biệt của nó là phần tử tam giác. Phần tử tam giác có PLANE2, PLANE46, PLANE146,... Phần tử tứ giác có PLANE182, ... Phần tử tứ giác kết hợp với phần tử tam giác có PLANE42, PLANE143, PLANE183, ...

Trong đó PLANE42 và PLANE183 thường dùng để tính toán công trình thủy công như đập bê tông trọng lực, đập đất, cống ngầm.

4.2.1. Phần tử PLANE42

Phần tử PLANE42 là phần tử phẳng 2 chiều chỉ có thể là phần tử ứng suất phẳng, phần tử biến dạng phẳng hoặc phần tử đối xứng trục. Phần tử có 4 điểm nút, mỗi nút có 2 độ tự do về chuyển vị theo phương X và Y. Phần tử có cả đặc tính dẻo, từ biến, dãn nở, ứng suất cứng hóa, biến dạng lớn. Hình dạng hình học, vị trí 4 điểm nút, hệ tọa độ tổng thể và cục bộ của phần tử PLANE42 được biểu thị ở hình 4.8.



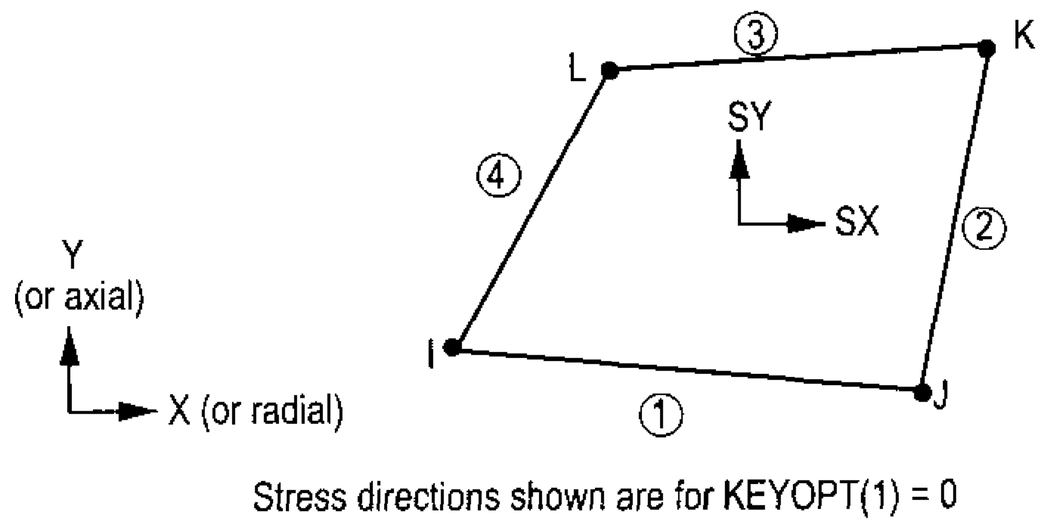
Hình 4.8. *Phần tử PLANE42*

Số liệu đầu vào: Số liệu đầu vào của phần tử PLANE42 cho ở bảng 4.1.

Bảng 4.1. Số liệu đầu vào của phần tử PLANE42

Tên gọi	PLANE42
Điểm nút	I, J, K, L
Độ tự do	UX, UY
Hằng số thực	Khi KEYOPT(3)=0, 1 hoặc 2 không hằng số thực Khi KEYOPT(3)=3 hằng số thực là chiều dày phần tử
Đặc trưng của vật liệu	EX, EY, EZ, PRXY, PRYZ, PRXZ ALPX, ALPY, ALPZ, DENS, DAMP
Tải trọng bề mặt	Áp lực: Mặt 1 (IJ), mặt 2 (JK), mặt 3 (KL), mặt 4 (KI)
Tải trọng khối	Nhiệt độ: T(I), T(J), T(K), T(L)
Đặc tính	Dẻo, từ biến, dãn nở, ứng suất cứng hóa, biến dạng lớn, phần tử sinh và chết
KEYOPT(1)	Định nghĩa hệ tọa độ phần tử 0 - Hệ tọa độ tổng thể đồng hành cùng hệ tọa độ phần tử 1 - Hệ tọa độ phần tử lấy cạnh I-J phần tử làm chuẩn
KEYOPT(2)	Hình dạng chuyển vị lớn 0 - Bao hàm hình dạng chuyển vị lớn 1 - Khống chế hình dạng chuyển vị lớn
KEYOPT(3)	Đặc tính phần tử: 0 - Ứng suất phẳng 1 - Đối xứng trục 2 - Biến dạng phẳng (biến dạng hướng trục Z bằng không) Xét đến ứng suất phẳng của độ dày phần tử
KEYOPT(5)	Xuất tính toán ứng suất phần tử 0 - Tính toán phần tử cơ bản 1 - Tất cả tính toán cơ bản của điểm tích phân 2 - Tính toán ứng suất điểm nút
KEYOPT(6)	Xuất tính toán bề mặt phần tử 0 - Tính toán phần tử cơ bản 1 - Tính toán mặt I-J 2 - Tính toán bề mặt mặt I-J và mặt K-L 3 - Tính toán phi tuyến tất cả điểm tích phân 4 - Tất cả các lực có áp lực khác không
KEYOPT(9)	Lựa chọn trình tự con ứng suất ban đầu 0 - Người sử dụng không dùng trình tự con ứng suất ban đầu 1 - Đọc ứng suất ban đầu trình tự con người sử dụng

Số liệu đầu ra: Số liệu đầu ra của phần tử bao gồm tất cả nút và phần tử như biểu thị ở hình 4.9. Số liệu đầu ra của phần tử PLANE42 cho ở bảng 4.2.



Hình 4.9. *Các điểm nút và mặt của phần tử*

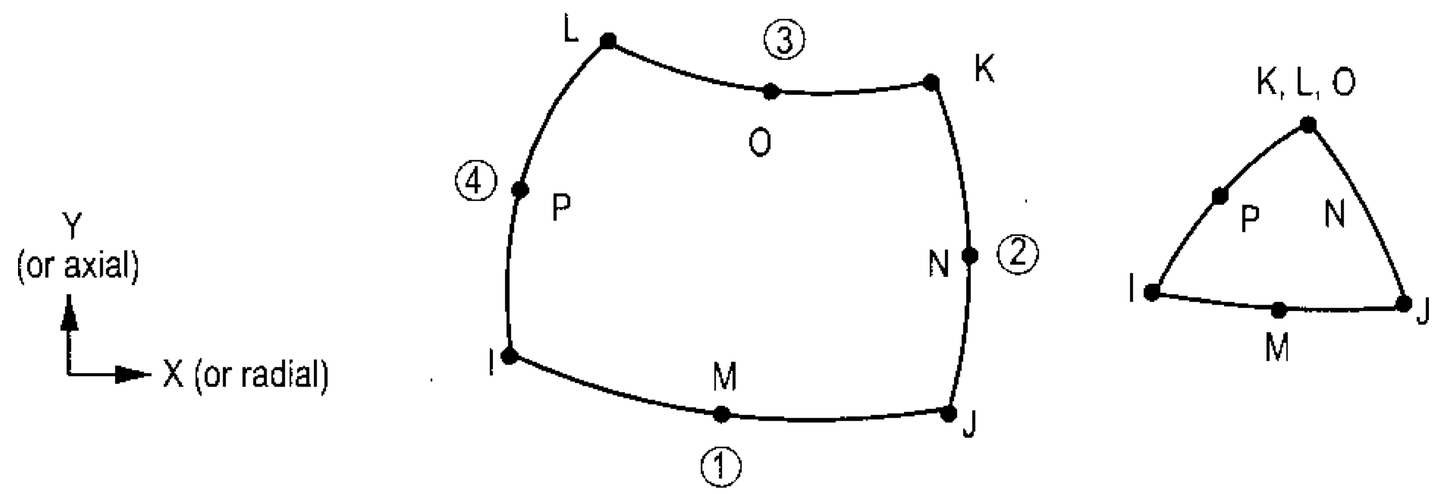
Bảng 4.2. Số liệu đầu ra của phần tử PLANE42

Tên	Định nghĩa
EL	Mã phần tử
NODES	Mã nút I, J của phần tử
MAT	Mã vật liệu
THICK	Độ dày trung bình
VOLU	Thể tích
XC, YC	Tọa độ trọng tâm xuất kết quả phần tử
TEMP	Nhiệt độ hai điểm nút T(I) và T(J)
PRES	Áp lực
FLUEN	Lực lượng nhiệt
S:INT	Cường độ ứng suất
S:EQV	Ứng suất tương đương
EPEL:X,Y,Z,XY	Biến dạng đàn hồi
EPEL:1,2,3	Biến dạng đàn hồi chính
EPEL:EQV	Biến dạng đàn hồi tương đương
EPCR	Biến dạng từ biến
EPSW	Biến dạng dãn nở
NL:SRAT	Tỷ số giữa ứng suất hướng trục và ứng suất mặt chảy dẻo
NL:SEPL	Ứng suất tương đương trên đường cong ứng suất biến dạng
NL:HPRES	Áp suất thủy tĩnh
FACE	Ký hiệu mặt
FEL(PAR,PER,Z)	Biến dạng đàn hồi bề mặt (mặt song song, mặt thẳng góc, z)
S(PAR,PER,Z)	Ứng suất đàn hồi bề mặt (mặt song song, mặt thẳng góc, z)
SINT	Cường độ ứng suất bề mặt
SEQV	Ứng suất bề mặt tương đương
LOCI:X,Y,Z	Tọa độ điểm tích phân

4.2.2. Phần tử PLANE183

Phần tử PLANE183 là phần tử phẳng 2 chiều chỉ có thể là phần tử ứng suất phẳng, phần tử biến dạng phẳng hoặc phần tử đối xứng trục. Phần tử có 8 điểm nút hoặc 6 điểm nút, mỗi nút có 2 độ tự do về chuyển vị theo phương X và Y. Phần tử vẫn có đặc tính dẻo, từ biến dãn nở, ứng suất cứng hóa, chuyển vị lớn và biến dạng lớn.

Hình dạng hình học, vị trí các điểm nút, hệ tọa độ tổng thể và cục bộ của phần tử PLANE42 được biểu thị ở hình 4.10. Hàm xấp xỉ chuyển vị của phần tử PLANE183 có bậc cao hơn hàm xấp xỉ chuyển vị của phần tử PLANE42, vậy trong cùng một bài toán với cùng kích thước phần tử thì độ chính xác của lời giải khi dùng phần tử PLANE183 sẽ cao hơn khi dùng phần tử PLANE42.



Hình 4.10. Phần tử PLANE183

Số liệu đầu vào: Số liệu đầu vào của phần tử PLANE183 cho ở bảng 4.3.

Số liệu đầu ra: Số liệu đầu ra của phần tử PLANE183 cho ở bảng 4.4.

Bảng 4.3. Số liệu đầu vào của phần tử PLANE183

Tên gọi	PLANE183
Điểm nút	I, J, K, L, M, N, P, Q, khi KEYOPT(1) = 0 I, J, K, L, M, N, khi KEYOPT(1) = 1
Độ tự do	UX, UY
Hằng số thực	Không có, nếu KEYOPT(3) = 0,1 hoặc 2 THK = Thickness, nếu KEYOPT(3) = 3
Thuộc tính vật liệu	EX, EY, EZ, ALPX, PRXY, PRYZ, PRXZ, ALPX, ALPY, ALPZ, DENS, GXY, GYZ, GXZ, DAMP
Tải trọng bề mặt	Áp lực - Mặt 1 (I-J), mặt 2 (K-L),), mặt 3 (J-K),), mặt 4 (J-L) khi KEYOPT(1)=0: Mặt 1 (I-J), mặt 2 (K-J), mặt 3 (I-K),), khi KEYOPT(1)=1
Tải trọng khối	Nhiệt độ: T(I), T(J), T(K), T(L), T(M), T(L), T(O), T(P) khi KEYOPT(1) = 0; T(I), T(J), T(K), T(L), T(M), T(N) khi KEYOPT(1) = 1;
Đặc tính	Đàn hồi, dẻo, đàn nhớt, dẻo nhớt, từ biến, dãn nở, ứng suất cứng hóa, chuyển vị lớn, biến dạng lớn, ổn định phi tuyến, sinh và chết

Bảng 4.3 (tiếp theo)

Tên gọi	PLANE183
KEYOPT(1)	Dạng phần tử: 0 - Phần tử tứ giác 8 điểm nút 1 - Phần tử tam giác 6 điểm nút
KEYOPT(3)	Đặc tính phần tử: 0 - Ứng suất phẳng 1 - Đối xứng trục 2 - Biến dạng phẳng (biến dạng hướng trục Z bằng không) 3 - Ứng suất phẳng với hằng số thực nhập độ dày (TK) 5 - Biến dạng phẳng tổng quát
KEYOPT(6)	Tính toán phần tử: 0 - Sử dụng pure tính toán chuyển vị (mặc định) 1 - Sử dụng tính toán u – P (không có giá trị với ứng suất phẳng)
KEYOPT(10)	Ứng suất ban đầu được định nghĩa bởi người sử dụng: 0 - Người sử dụng không dùng trình tự con ứng suất ban đầu 1 - Đọc ứng suất ban đầu trình tự con người sử dụng

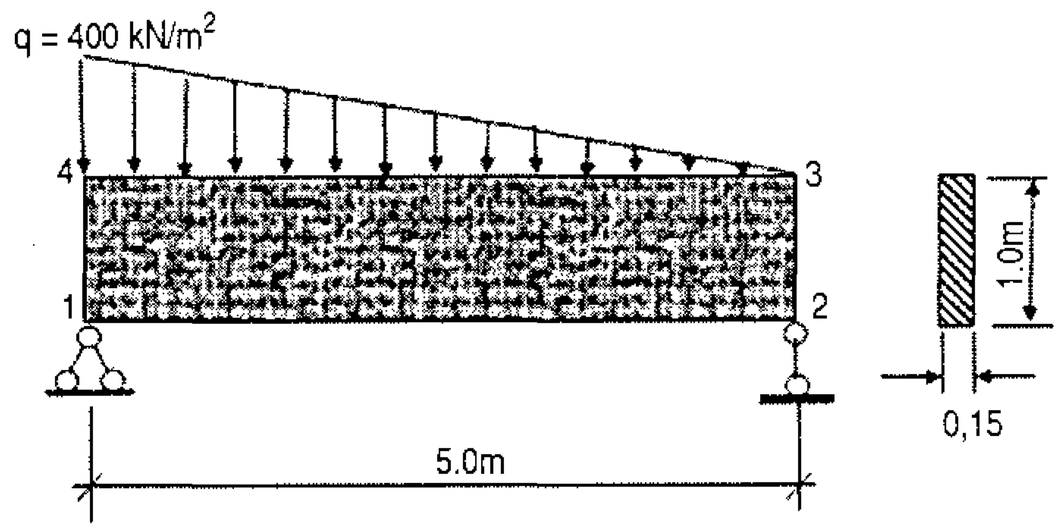
Bảng 4.4. Số liệu đầu ra của phần tử PLANE183

Tên	Định nghĩa
EL	Mã phần tử
NODES	Mã nút I, J, K, L (với KEYOPT(1) = 0) và I, J, K (với KEYOPT(1) = 1)
MAT	Mã vật liệu
THICK	Chiều dày
XC, YC	Vị trí xuất kết quả
PRES	Áp lực p1 ở nút J, I, p2 ở nút J, K, p3 ở nút L, K, p3 ở nút L, K, p4 ở nút I, L (p4 chỉ với KEYOPT(1)=0)
TEMP	Nhiệt độ tại nút T(I), T(J), T(K), T(L) chỉ với KEYOPT(1) = 0
SX,Y,Z,XY	Ứng suất (SZ = 0 đối với phần tử ứng suất phẳng)
S1,2,3	Ứng suất chính
S:INT	Cường độ ứng suất
S:EQV	Ứng suất tương đương
EPEL:X,Y,Z,XY	Biến dạng đàn hồi
EPEL:1,2,3	Biến dạng đàn hồi chính
EPEL:EQV	Biến dạng đàn hồi tương đương
EPTH:X,Y,Z,XY	Biến dạng nhiệt
EPTH:EQV	Biến dạng đàn hồi tương đương
EPPL:X,Y,Z,XY	Biến dạng dẻo
EPPL:EQV	Biến dạng dẻo tương đương
EPCR:X,Y,Z,XY	Biến dạng từ biến
EPCR:EQV	Biến dạng từ biến tương đương

4.3. PHÂN TÍCH BÀI TOÁN PHẲNG

• Ví dụ 4.1: Dầm cao

Xác định chuyển vị và ứng suất của dầm cao có sơ đồ tính toán như ở hình 4.11, tiết diện chữ nhật có b×h = (0.15×1.0)m. Vật liệu bê tông có E = 2.4×107kN/m^2, μ_b=0.2, γ_b=25kN/m^3....



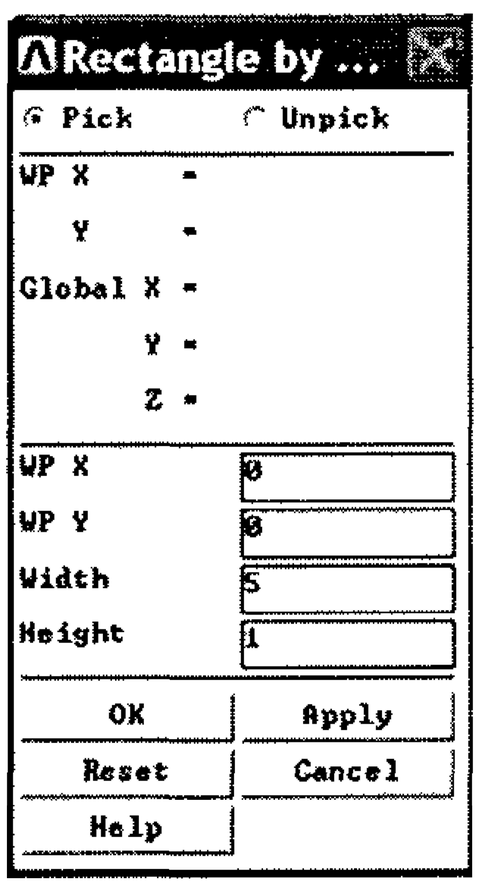
Hình 4.11. Sơ đồ tính toán dầm

1. Phương thức GUI

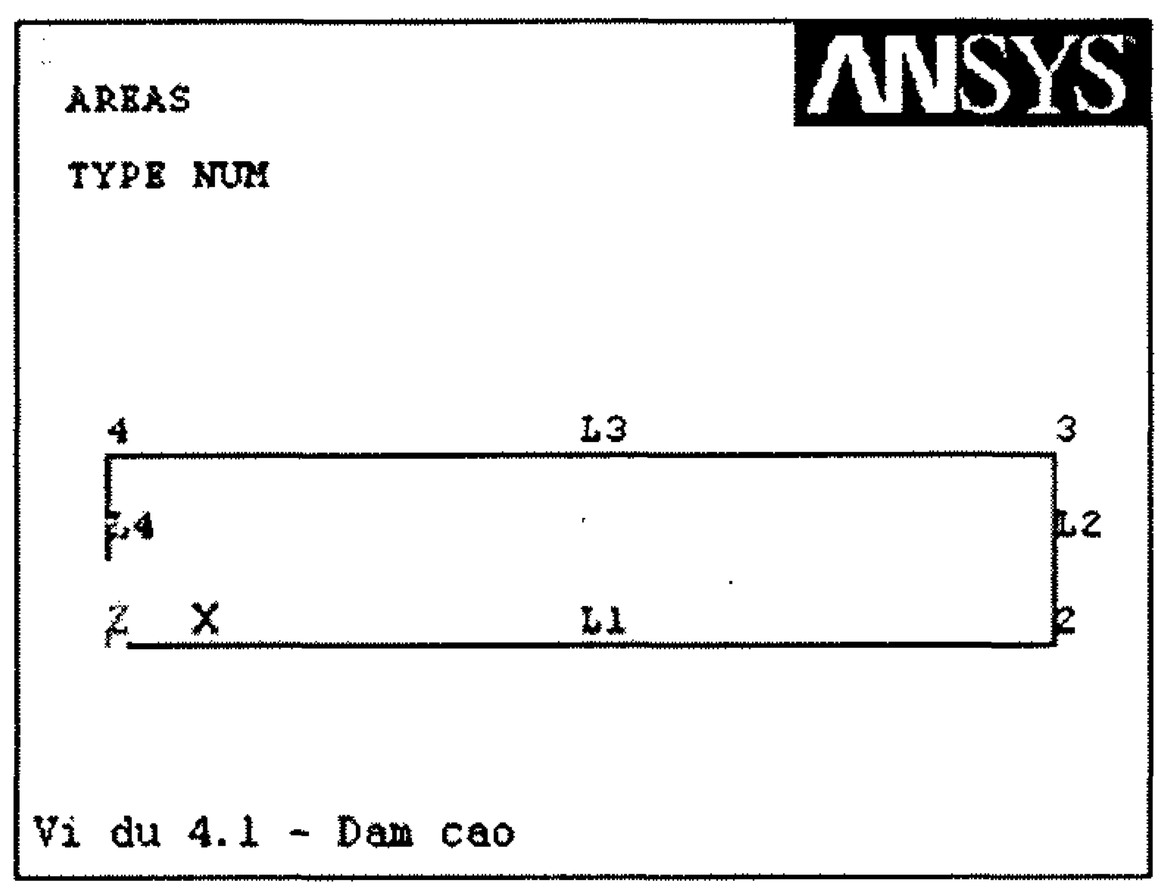
a) Xây dựng mô hình và giải bài toán

- *Đặt tên cho bài toán*: Từ menu File > Change Title > Xuất hiện bảng Change Title > Nhập: Vidu 4-1-Dam cao > OK.

- *Tạo diện tích mặt dầm*: Từ menu Preprocessor > Modeling > Create > Area > Rectangle > by 2 Corners > Xuất hiện bảng Rectangle by 2 Corners như ở hình 4.12 > Nhập tọa độ điểm góc dưới ở bên trái hình chữ nhật, chiều rộng Width = 5 và chiều cao Height = 1 > OK > Ta có diện tích mặt dầm như ở hình 4.13.

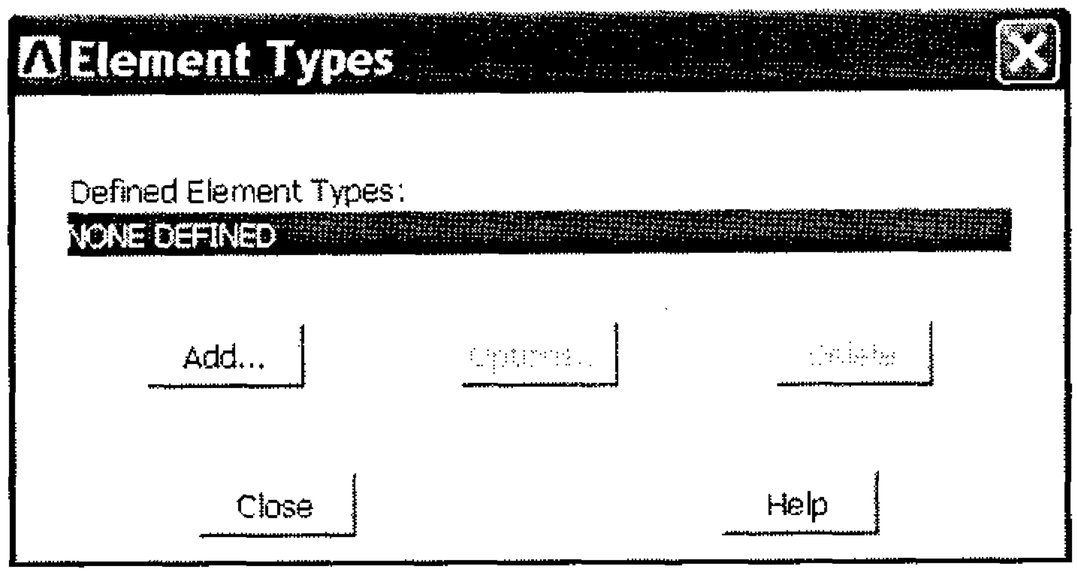


Hình 4.12



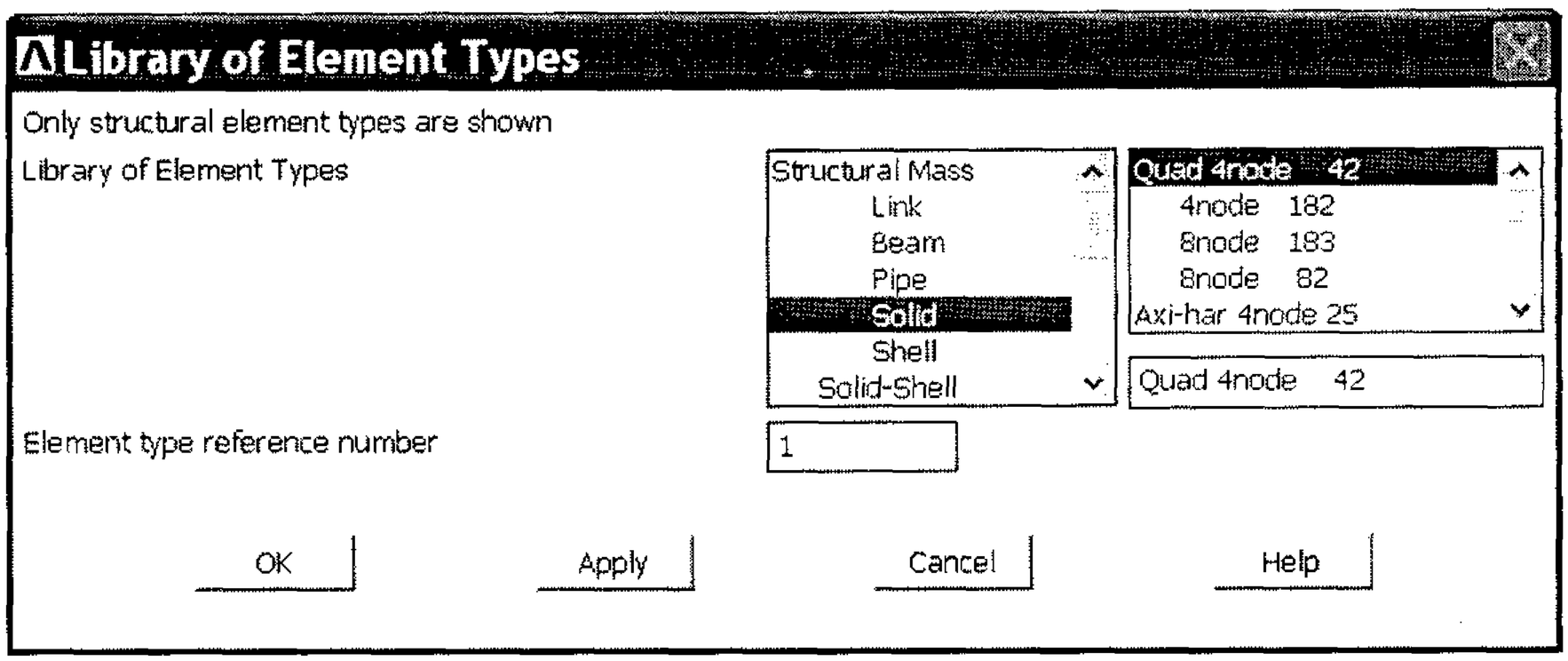
Hình 4.13. Diện tích mặt dầm

- *Chọn loại phần tử*: Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Xuất hiện Element Type như ở hình 4.14 > Add > Xuất hiện bảng Library of Element Types như ở hình 4.15 > Chọn Solid ở cửa sổ trái > Quad 4node 42 ở cửa sổ phải như > OK > Close.

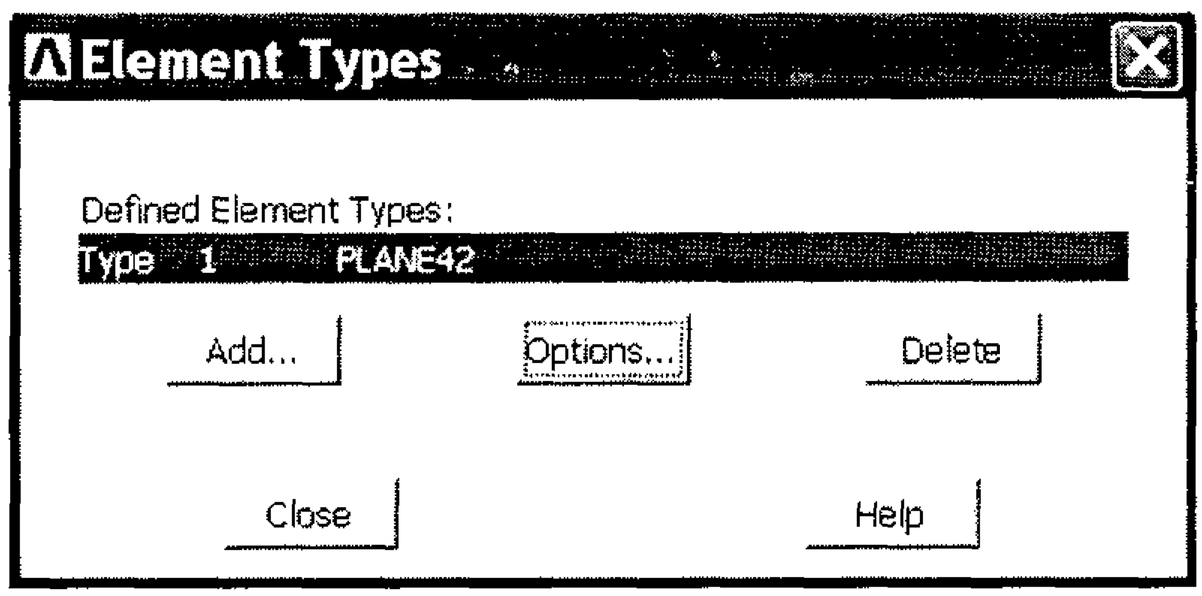


Hình 4.14. *Định nghĩa loại phần tử*

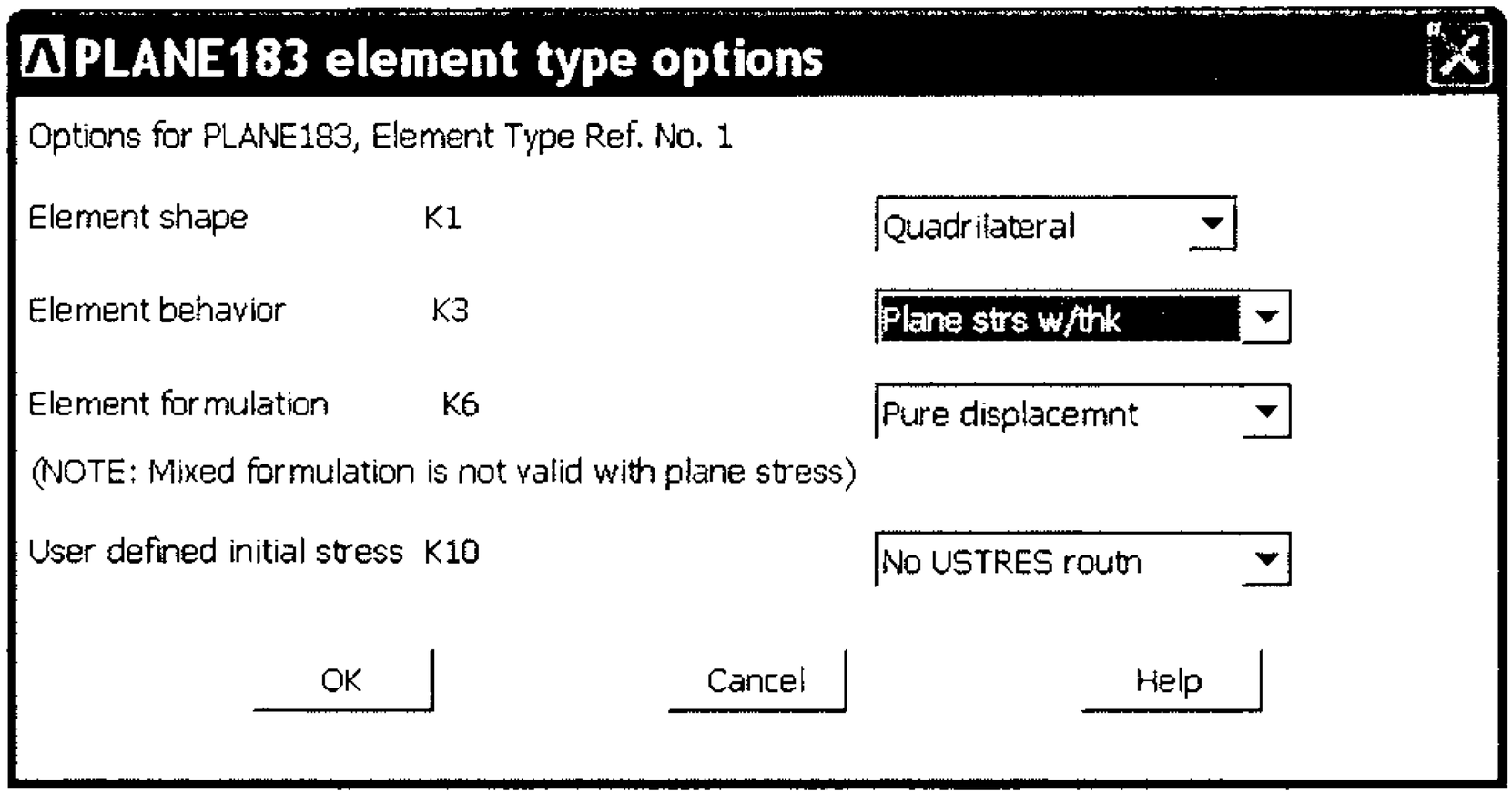
Nhấn OK > Xuất hiện lại bảng Element Types và Type 1 Plane42 đã được chấp nhận như ở hình 4.16 > Nhấn Options > Xuất hiện bảng PLANE42 element type options > Chọn [Plane strs w/thk] trong Element Behaviour như ở hình 4.17 > OK > Close.



Hình 4.15. *Chọn phần tử PLANE42*



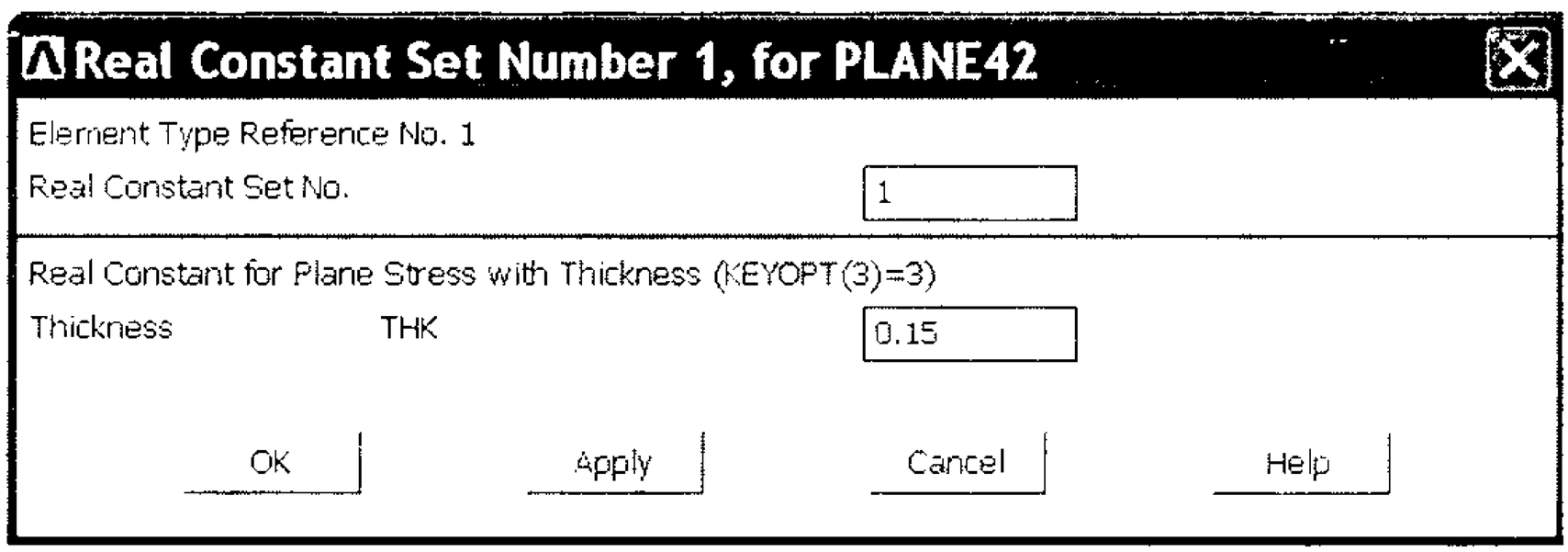
Hình 4.16. *Phần tử PLANE42 đã được định nghĩa*



Hình 4.17. *Chọn phần tử ứng suất phẳng PLANE42*

- *Định nghĩa hằng số thực*: Preprocessor > Real Constants > Add\Edit\Delete > Xuất hiện bảng Real Constant Set Number 1, for PLANE42 như ở hình 4.18 và nhập số liệu sau:

Chiều dày THK = 0.15 > OK.

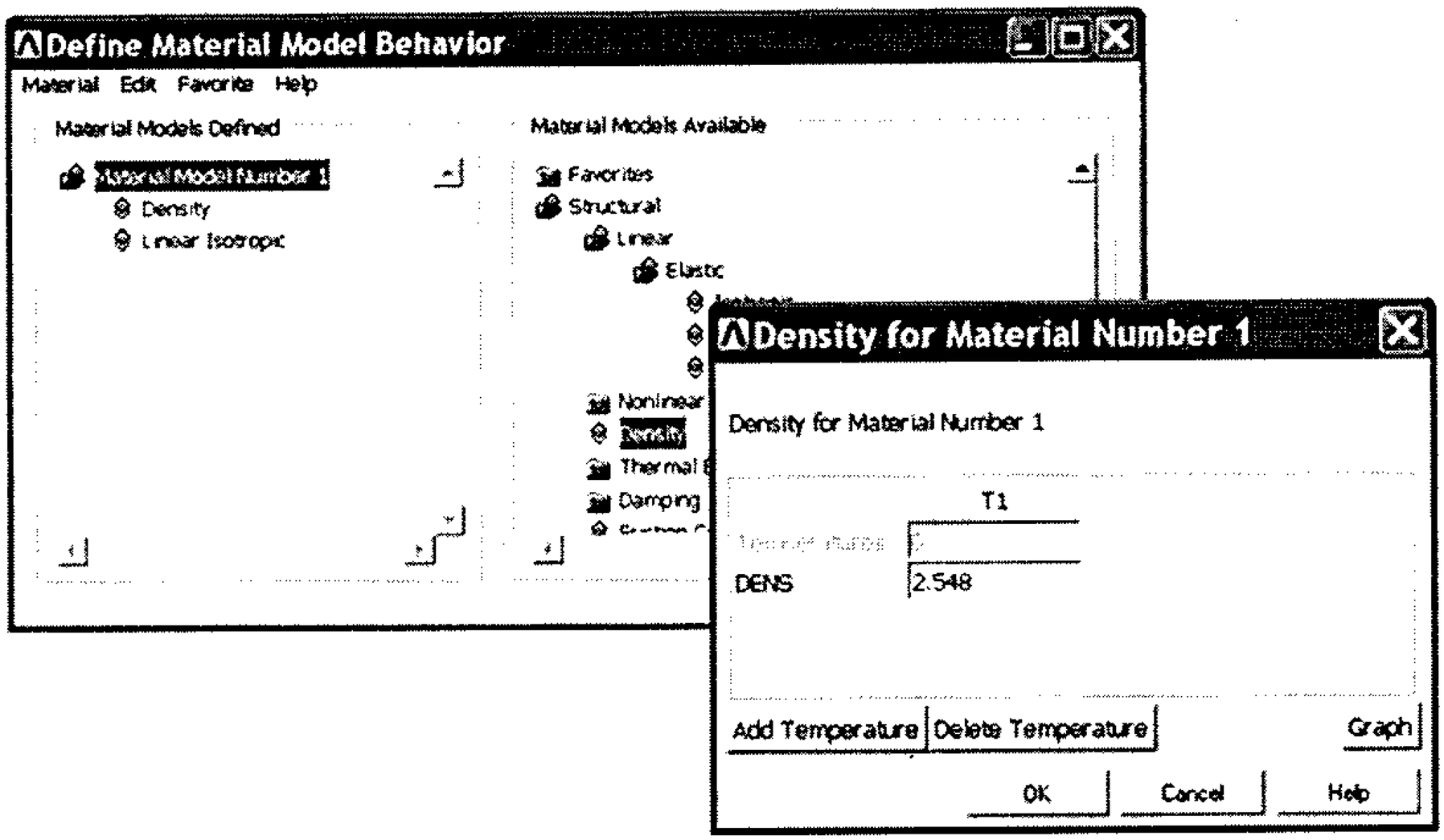


Hình 4.18. *Nhập chiều dày phần tử*

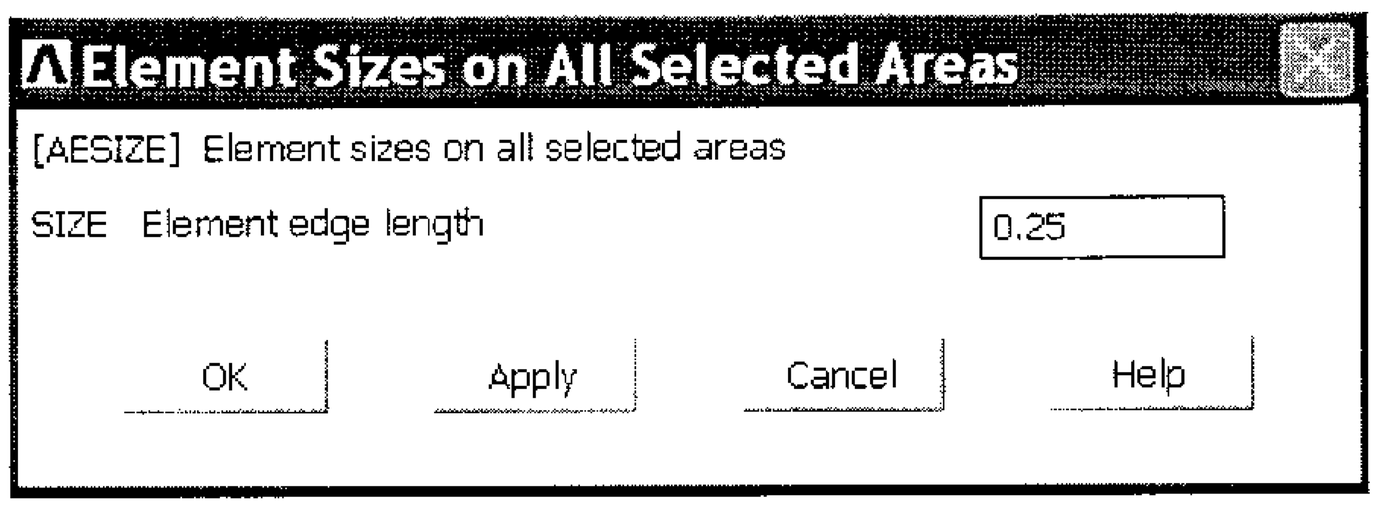
- *Định nghĩa thuộc tính của vật liệu*: Preprocessor > Material Props > Material Model > Define Material Model Behavior như ở hình 4.19 > Structural > Linear > Elastic > Isotropic > Linear Isotropic Properties for Material 1 > Nhập mô đun đàn hồi EX = 2.4×107kN/m^2 và hệ số Poisson PRXY = 0.2 > OK > Nhấn Density > Density for Material Number 1 > Nhập khối lượng bê tông DENS = 2.548 (25/9.81 = 2.548) > Nhấn Material > Exit.

- *Chọn chiều dài cạnh phần tử phẳng*: Preprocessor > Modeling > Size Cntrls > Manual Size >Areas >All Areas > Xuất hiện bảng Element Sizes on All Selected Areas như ở hình 3.20 > Nhập chiều dài cạnh phần tử SIZE = 0.25.

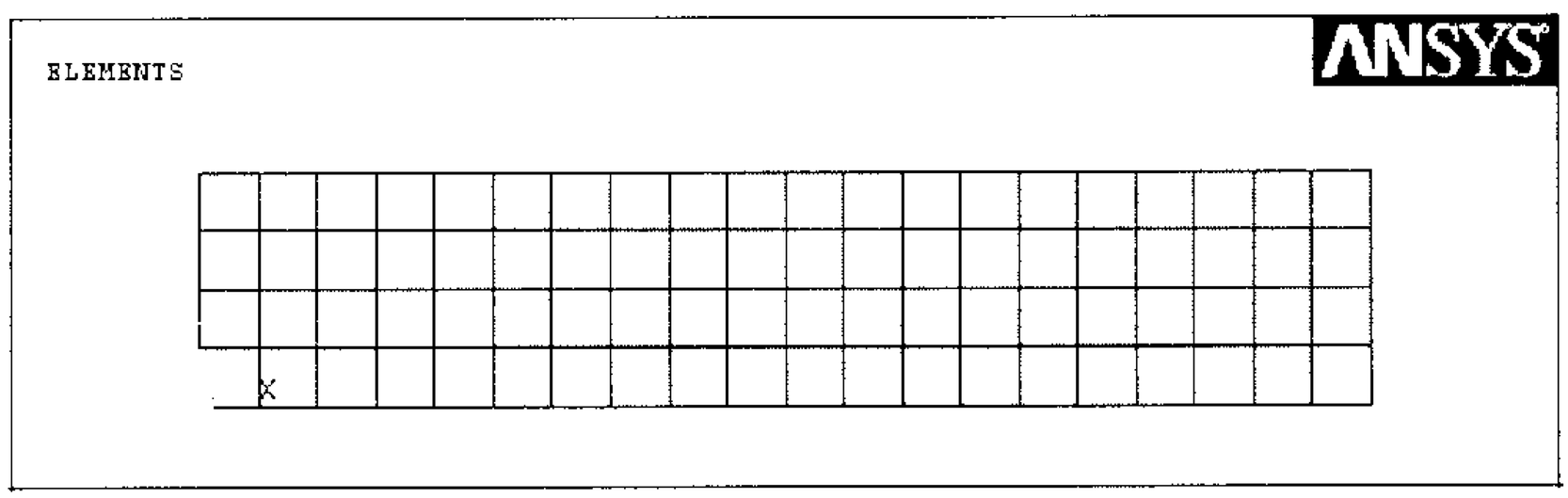
- *Chia lưới phần tử*: Preprocessor > Meshing > Mesh > Areas > Free > Pick All, ta có mạng lưới phần tử của dầm cho ở hình 4.21.



Hình 4.19. Nhập thuộc tính của vật liệu

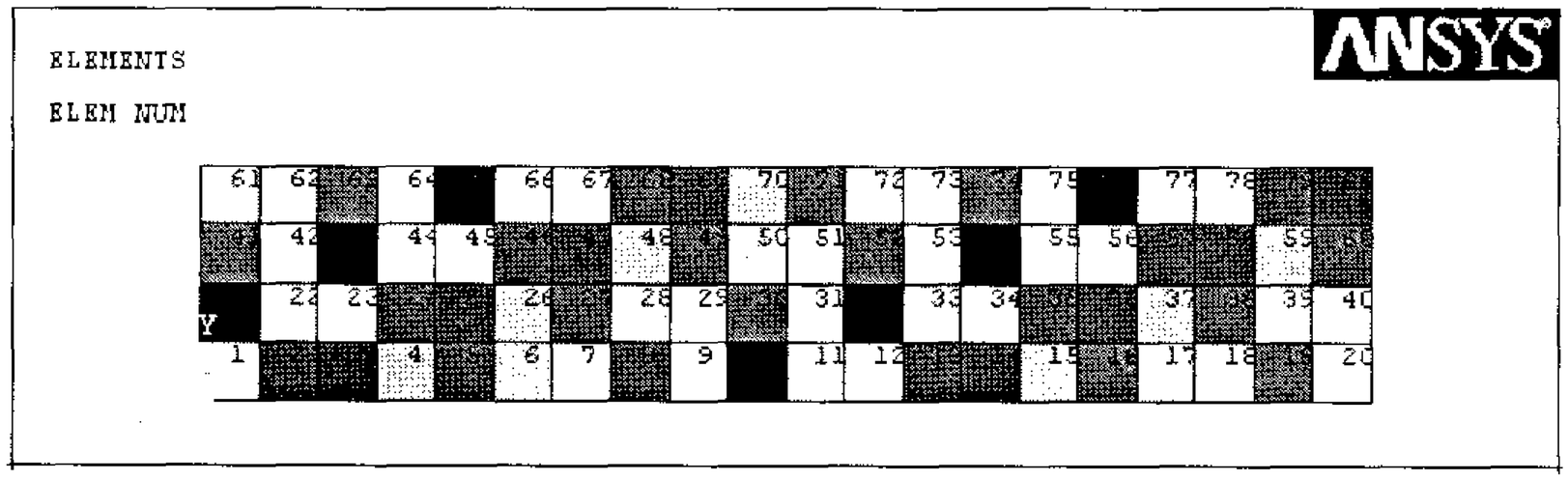


Hình 4.20. Chọn chiều dài cạnh phần tử phẳng



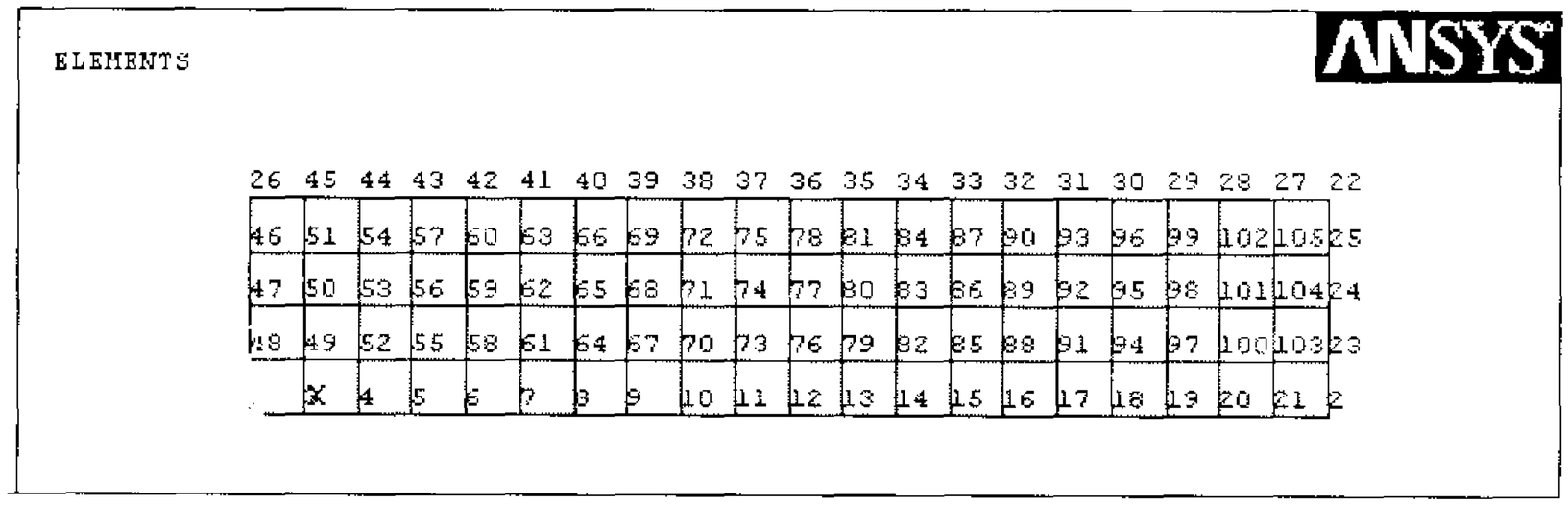
Hình 4.21. Mạng lưới phần tử PLANE của dầm

- *Hiển thị mã phần tử*: Plot > Elements > PlotCtrls > Numbering > Plot Numbering Controls > Chọn Element Number trong cửa sổ nhỏ Elem/Attrib Numbering > OK, ta có mạng lưới phần tử và mã các phần tử PLANE42 như ở hình 4.22.



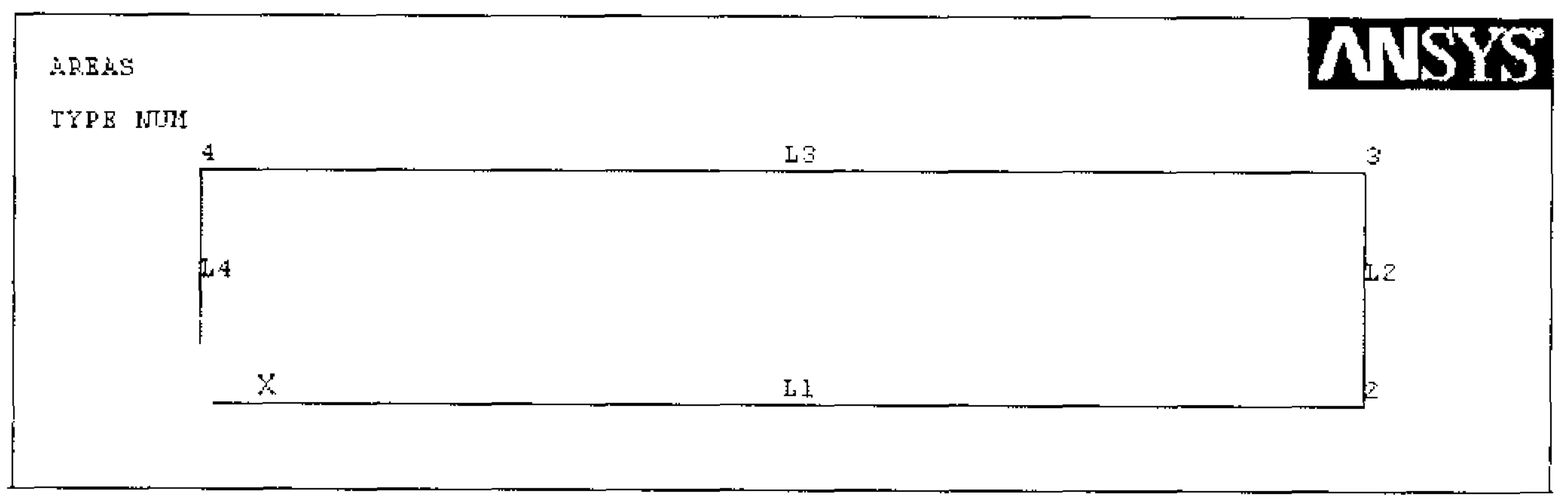
Hình 4.22. *Mạng lưới phần tử và mã phần tử*

- *Hiển thị mã nút của các phần tử*: Plot > Elements > PlotCtrls > Numbering > Nodes ☑ On, ta có mạng lưới phần tử và mã các nút cho ở hình 4.23.



Hình 4.23. *Mạng lưới phần tử và mã các nút*

- *Mã đường và điểm của chu vi dầm*: Plot > Lines > PlotCtrls > Numbering > Xuất hiện bảng Plot Numbering Controls > Chọn KP ☑On và LINE ☑On > OK, ta có mã đường và mã điểm của dầm như ở hình 4.24.



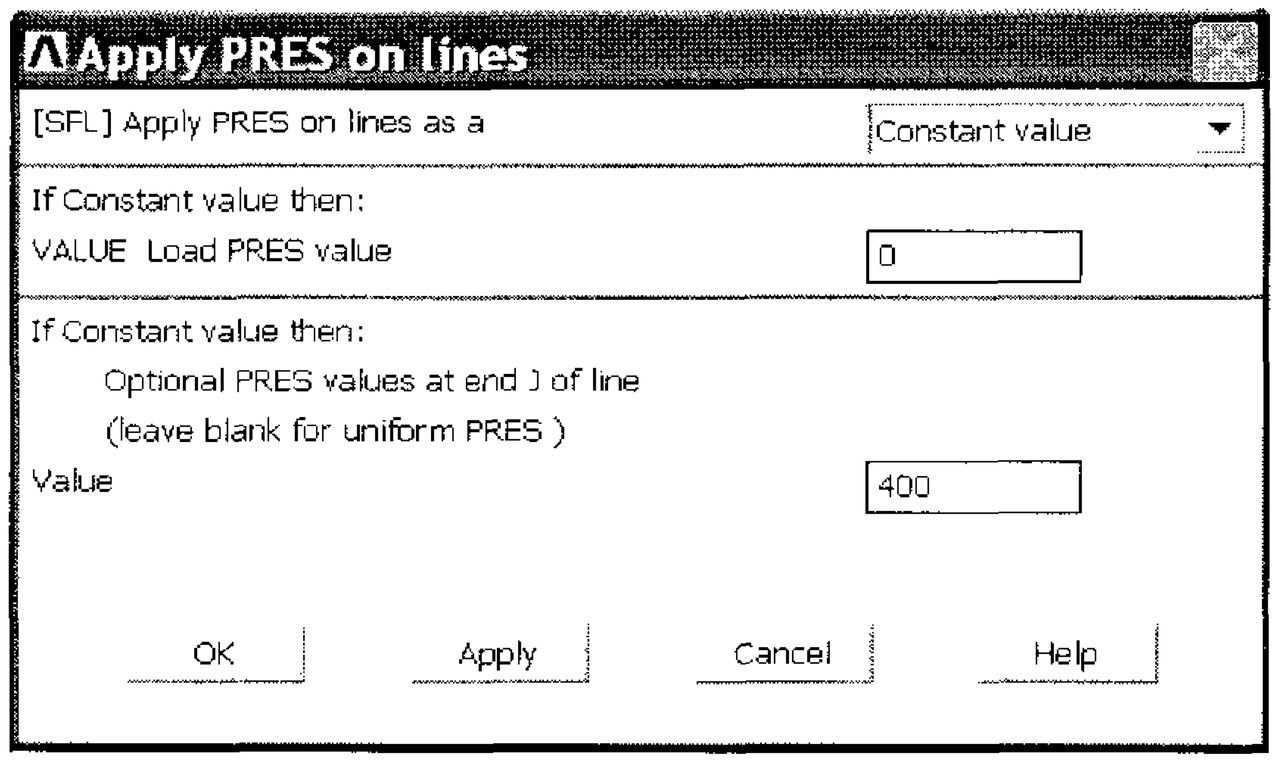
Hình 4.24. *Mã đường và mã điểm chu vi dầm*

- *Chọn kiểu phân tích*: Solution > Analysis Type > New Analysis > Chọn ⊙ Static > OK.

- *Gán liên kết*: Solution > Define Loads > Apply > Displacement > On Keypoint > Chọn điểm 1 (xem hình 4.24) > OK > Xuất hiện bảng Apply U, ROT on KPs > Chọn All DOF > Nhập giá trị chuyển vị VALUE = 0 > Apply. Tiếp đến nhấn chuột vào điểm 2 và chọn UY > Nhập giá trị chuyển vị VALUE = 0 > OK.

- *Gán tải trọng phân bố hình tam giác vào dầm*: Solution > Define Load > Apply > Structural > Pressure > On Lines > Chọn đường L3 (đường 3-4, xem hình 4.24) > Nhấn

OK > Xuất hiện bảng Apply PRES on Lines như ở hình 4.25 > Nhập giá trị của lực ở đầu I (điểm 3) với VALUE = 0 và đầu J (điểm 4) với VALUE = 400 > OK.

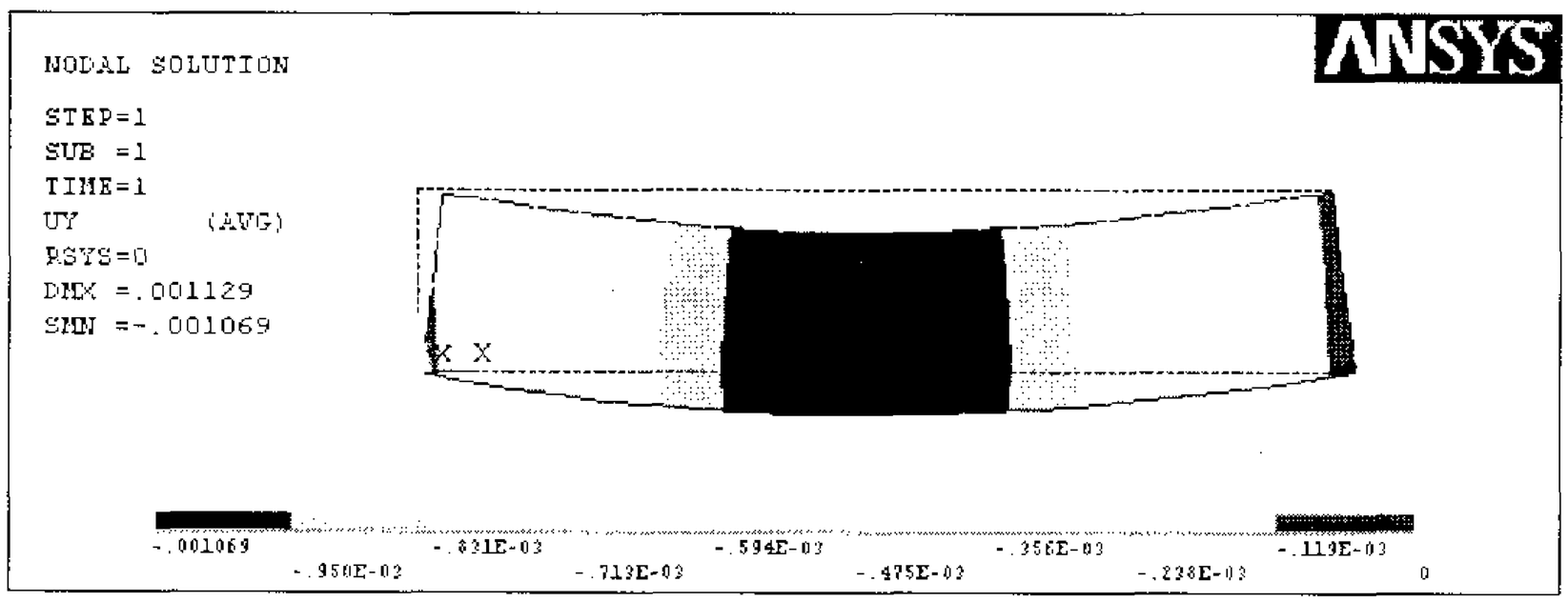


Hình 4.25. *Gán tải trọng vào dầm*

- *Chạy chương trình*: Solution > Solve > Currunt LS > Xuất hiện thông báo việc giải đã hoàn thành Solution is done > Close.

b) Khai thác kết quả bài toán

- *Biểu đồ chuyển vị*: General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Nodal Solu > DOF Solution > Y-Component of Displacement > OK > Hình dạng biến dạng của dầm cho ở hình 4.26, từ góc trái phía trên của hình cho biết chuyển vị tổng cộng lớn nhất của dầm DMX = 0.001129m và chuyển vị theo phương đứng UY lớn nhất SMX = -0.001069m.



Hình 4.26. *Phổ mầu chuyển vị của dầm*

- *Bảng liệt kê giá trị chuyển vị*: General Postprocessor > List Result > Nodal Solution > Xuất hiện bảng List Nodal Solution > Nodal Solution > DOF Solution > Chọn Displacement Vector SUM > OK, ta có bảng cho giá trị chuyển vị tại các nút dầm như ở bảng 4.5. Từ bảng 4.6 cho biết chuyển vị tổng cộng lớn nhất USUM = 0.001129m tại nút 75 và chuyển vị đứng lớn nhất UY = -0.001069m tại nút 74. Vị trí các nút của các phần tử dầm xem hình 4.23.

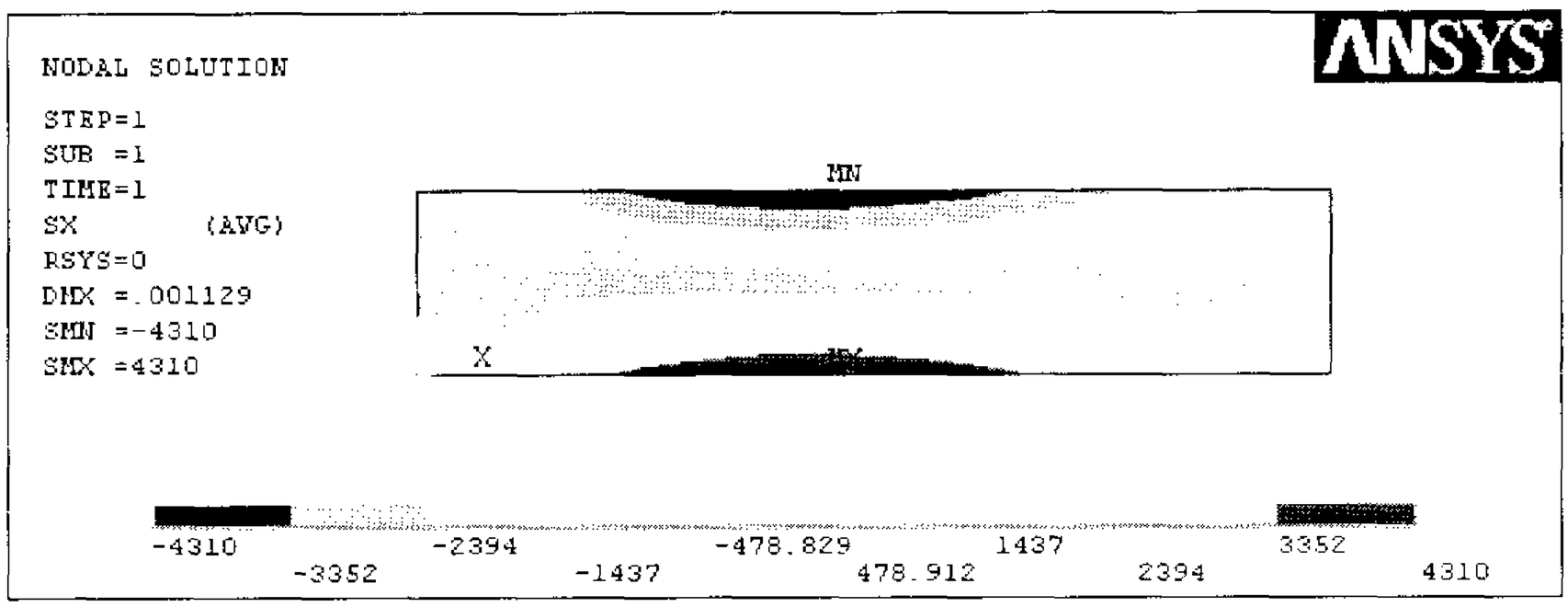
Bảng 4.5. Giá trị chuyển vị tại các nút

PRNSOL Command

File

```
PRINT U    NODAL SOLUTION PER NODE

 ***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

 LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
  TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0

 THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL
COORDINATE SYSTEM

   NODE      UX          UY          UZ          USUM
      1    0.0000      0.0000      0.0000      0.0000
      2   0.65681E-03  0.0000      0.0000     0.65681E-03

     73   0.33909E-03-0.10660E-02  0.0000     0.11186E-02
     74   0.35154E-03-0.10689E-02  0.0000     0.11253E-02
     75   0.36389E-03-0.10683E-02  0.0000     0.11286E-02
     76   0.36106E-03-0.10658E-02  0.0000     0.11253E-02

    104   0.34782E-03-0.20410E-03  0.0000     0.40328E-03
    105   0.21720E-03-0.20771E-03  0.0000     0.30053E-03

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES
NODE          2          74          0          75
VALUE   0.65681E-03-0.10689E-02  0.0000     0.11286E-02
```

- *Biểu đồ ứng suất dầm*: General Postprocessor > Plot Result > Contour Plot > Nodal Solu > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data > Nhấn Nodal Solution > Stress > X-Component of Stress > Nhấn OK, ta có biểu đồ ứng suất SX của dầm bằng phổ mầu cho ở hình 4.27. Từ hình này cho biết ứng suất SX lớn nhất SMX = 4310kN/m^2 và ứng suất SX nhỏ nhất SMN = -4310kN/m^2.



Hình 4.27. Phổ mầu ứng suất SX của dầm

- *Bảng liệt kê giá trị ứng suất*: General Postprocessor > List Result > Nodal Solution > Xuất hiện bảng List Nodal Solution > Nodal Solution > Stress > Component Vector SUM > OK, ta có bảng cho giá trị ứng suất tại các nút dầm như ở bảng 4.6. Vị trí các nút của phần tử xem hình 4.23.

Bảng 4.6. Giá trị nội lực tại một số nút

```
PRNSOL Command

PRINT S    NODAL SOLUTION PER NODE

 ***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****
 PowerGraphics Is Currently Enabled

 LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
  TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0
 NODAL RESULTS ARE FOR MATERIAL   1

 THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

   NODE    SX          SY          SZ          SXY         SYZ         SXZ
      1   1953.8     -7602.0     0.0000     -1086.4      0.0000      0.0000
      2   1072.0     -4114.6     0.0000      601.60      0.0000      0.0000

MINIMUM VALUES
NODE          37           1           1           1           1           1
VALUE    -4309.8     -7602.0     0.0000     -1086.4      0.0000      0.0000

MAXIMUM VALUES
NODE          11           3           1           2           1           1
VALUE     4309.9      1063.2     0.0000      601.60      0.0000      0.0000
```

- *Bảng liệt kê giá trị ứng suất trong từng phần tử*: General Postprocessor > List Result > Element Solution > Xuất hiện bảng List Element Solution > Element Solution > Stress > X-Component of Stress > OK, ta có bảng giá trị ứng suất tại các nút của phần tử dầm cho ở bảng 4.7. Vị trí của các phần tử xem hình 4.22 và các nút tương ứng của phần tử xem hình 4.23.

Bảng 4.7. Ứng suất tại các nút của một số phần tử dầm

```
PRESOL Command
File

PRINT S    ELEMENT SOLUTION PER ELEMENT

***** POST1 ELEMENT NODAL STRESS LISTING *****

 LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
  TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0

 THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES


ELEMENT=        1        PLANE42
  NODE    SX          SY          SZ          SXY         SYZ         SXZ
     1   1953.8     -7602.0     0.0000     -1086.4      0.0000      0.0000
     3   1953.8      972.99     0.0000     -1086.4      0.0000      0.0000
    49  -648.29      972.99     0.0000     -1086.4      0.0000      0.0000
    48  -648.29     -7602.0     0.0000     -1086.4      0.0000      0.0000

ELEMENT=       11        PLANE42
  NODE    SX          SY          SZ          SXY         SYZ         SXZ
    12   4164.5     -25.889     0.0000      69.715      0.0000      0.0000
    13   4164.5     0.52554     0.0000      69.715      0.0000      0.0000
    79   2046.0     0.52554     0.0000      69.715      0.0000      0.0000
    76   2046.0     -25.889     0.0000      69.715      0.0000      0.0000
```

- *Phản lực liên kết*: General Postprocessor > List Result > Reaction Solution > Nodal Solu > List Reaction Solution > Chọn All Items > PRRSOL Command cho giá trị phản lực tại nút 1 có FY = 109.37kN, tại nút 2 có FY = 59.373kN và có tổng ∑FY = 168.75, xem bảng 4.8. Kết quả tính toán phù hợp với tải trọng tác dụng vào dầm gồm tải trọng phân bố và trọng lượng bản thân dầm:

$$\sum p+G=0.5bpL+\sum bhL=400\times0.15\times5/2+25\times0,15\times1\times5=168.75=\sum FY=168.75kN$$

Bảng 4.8. Phản lực liên kết

```
PRRSOL Command
File

 PRINT REACTION SOLUTIONS PER NODE

  ***** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING *****

  LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
   TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0

  THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE
SYSTEM

    NODE       FX          FY
       1  0.22153E-10  109.37
       2               59.373

 TOTAL VALUES
 VALUE   0.22153E-10  168.75
```

2. Phương thức COMMAND

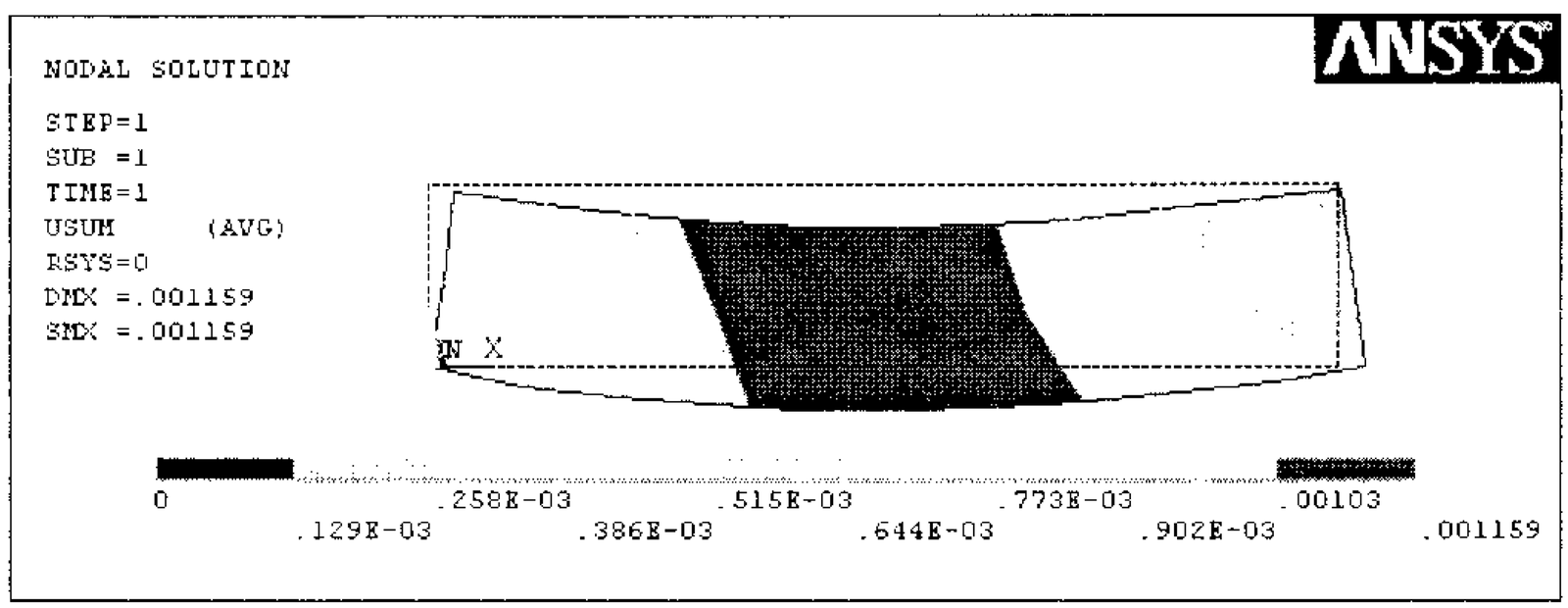
```
/TITLE,Vi du 3.1 - Dam cao
/PREP7
ET,1,PLANE42          !Chọn phần tử phẳng 4 nút PLANE42
R,1, 0.15             !Hằng số thực với chiều dày 0.15m
KEYOPT,1,3,3          !Bài toán ứng suất phẳng
MP,EX,1,2.4E+07       !Mô đun đàn hồi của vật liệu
MP,PRXY,1,0.2         !Hệ số Poisson
MP,DENS,1,2.548       !Khối lượng riêng
K,1,0,0,0             !Tọa độ điểm 1
K,2,5,0,0             !Tọa độ điểm 2
K,3,5,1,0             !Tọa độ điểm 3
K,4,0,1,0             !Tọa độ điểm 4
L,1,2                 !Vẽ đoạn thẳng 1-2
L,2,3                 !Vẽ đoạn thẳng 2-3
L,3,4                 !Vẽ đoạn thẳng 3-4
L,4,1                 !Vẽ đoạn thẳng 4-1
 /PNUM,KP,ON          !Hiển thị mã các điểm đặc trưng
A,1,2,3,4             !Mặt được tạo từ các điểm 1, 2, 3, 4
LSEL,S,,,1            !Chọn đường thẳng L1
LESIZE,ALL,,,10       !Phân chia đường L1 thành 10 đoạn
LSEL,S,,,2            !Chọn đường thẳng L2
LESIZE,ALL,,,2        !Phân chia đường L2 thành 32 đoạn
LSEL,S,,,3            !Chọn đường thẳng L3
LESIZE,ALL,,,10       !Phân chia đường L3 thành 6 đoạn
LSEL,S,,,4            !Chọn đường thẳng L4
```

```
LESIZE,ALL,,,2          !Phân chia đường L4 thành 4 đoạn
AMESH,ALL               !Chia lưới phần tử của đập
ACEL,0,9.81             !Gán gia tốc trọng trường
SFL,3,PRES,0,400        !Gán áp lực nước
DK,1,All                !Gán khớp cố định tại nút 1
DK,2,UY,0               !Gán khớp di động tại nút 2
/SOLU
ANTYPE,STATIC           !Phân tích tĩnh tải
SOLVE                   !Tiến hành giải
/POST1
PLDISP,1                !Vẽ biến dạng dầm
PLNSOL,U,Y              !Vẽ phổ chuyển vị dầm theo phương Y
PLNSOL,S,X              !Vẽ phổ ứng suất dầm theo phương X
FINISH
```

3. Phương thức APDL

- *Lập trình cho phương thức giải APDL*: Copy các lệnh trên đã được soạn thảo trong Word sang phần mềm Notepad với tên file Vi du 4.1-Dam cao.txt trong thư mục Z BT-ANSYS (4) ổ D\.Tìm file Vi du 4.1-Dam cao.txt. theo đường dẫn → D\ → Z BT-ANSYS (4) → Vi du 4.1-Dam cao.txt.

- *Chạy chương trình và khai thác kết quả*: Khởi động phần mềm ANSYS > Nhấn File > Chọn Read Input from > Nhấn đúp chuột D\ Tìm thư mục Z BT-ANSYS (4) ở cửa sổ phải và nhấn đúp chuột vào thư mục này > Nhấn chuột chọn file Vi du 4.1-Dam cao.txt ở cửa sổ trái > OK. Sau khi nhấn OK chương trình sẽ chạy, khi thấy hiển thị biểu đồ ứng suất SX như ở hình 4.27 là việc giải bài toán đã hoàn thành > Close. Khai thác kết quả tính toán về chuyển vị và ứng suất tương tự như phương thức GUI.

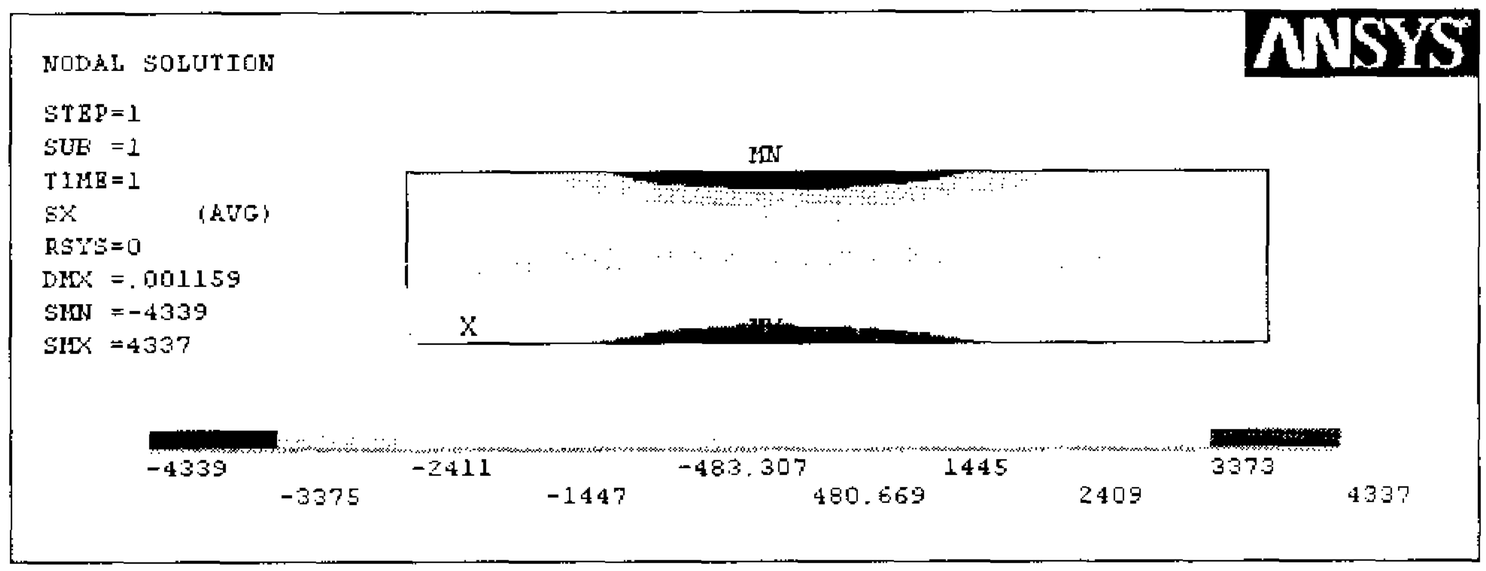


***Hình 4.28** .Phổ mầu chuyển vị USUM của dầm*

Trong ví dụ trên chúng ta đã dùng phần tử PLANE 42 có 4 điểm nút có hàm xấp xỉ chuyển vị bậc thấp, nên số phần tử cần chọn tương đối lớn gồm 4×20 = 80 phần tử. Cũng bài toán này nếu ta dùng phần tử PLANE183 có 8 nút, do đó có hàm xấp xỉ chuyển vị bậc cao hơn, nên có thể chọn số phần tử ít hơn 80 phần tử.

Để có lời giải được nhanh chóng, ta sử dụng phương thức giải APDL, chỉ cần thay ET,1,PLANE42 ở dòng lệnh thứ 3 bằng ET,1,PLANE183, chọn kích thước phần tử là 0.5m, vậy tổng số phần tử chọn là 4×10 = 40 phần tử và cho chạy chương trình, ta có kết quả tính toán cho ở hình 4.29.

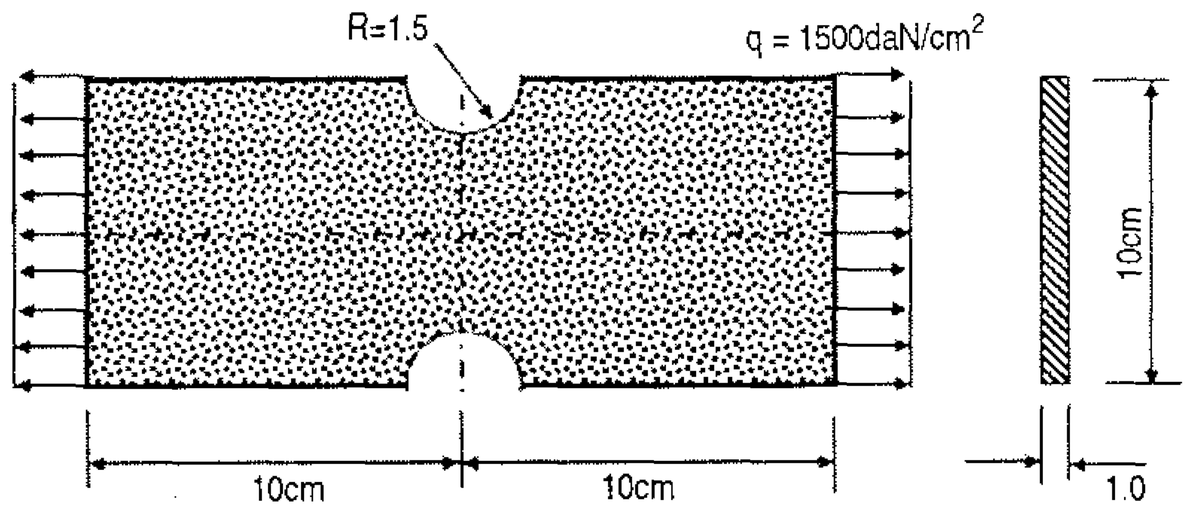
Từ hình 4.29 cho biết chuyển vị toàn phần lớn nhất DMX = 0.001159m, ứng suất pháp SX lớn nhất SMX = 4337kN/m^2 và SX nhỏ nhất khi dùng phần tử PLANE183 với 40 phần tử lớn hơn, chuyển vị toàn phần lớn nhất USUM = 0.001129m khi dùng phần tử PLANE42 với 80 phần tử lớn hơn.



Hình 4.29. Phổ mầu ứng suất SX của dầm

• Ví dụ 4.2. Tấm chữ nhật có khoét lỗ

Xác định trạng thái ứng suất, chuyển vị và biểu đồ ứng suất pháp tại mặt cắt đi qua tâm lỗ tròn và thẳng góc với phương lực kéo của tấm chữ nhật có kích thước và chịu tải trọng như hình 4.30. Vật liệu thép có E = 2.1×106daN/cm^2, μ = 0.3.



Hình 4.30. Sơ đồ tính toán tấm có khoét lỗ

1. Phương thức GUI

a) Xây dựng mô hình và giải bài toán

- Đặt tên File bài toán: Khởi động ANSYS, nhấn chuột vào biểu tượng > New Analysis > Nhập "Vi du 4.2-Tam co lo" trong cửa sổ nhỏ của Analysis Jobname > OK.

Đặt tên bài toán chi tiết hơn, từ menu File > Change Title > Xuất hiện bảng Change Title > Nhập "Vi du 4.2 - Tam chu nhat co lo khoet" vào cửa sổ nhỏ của Title.

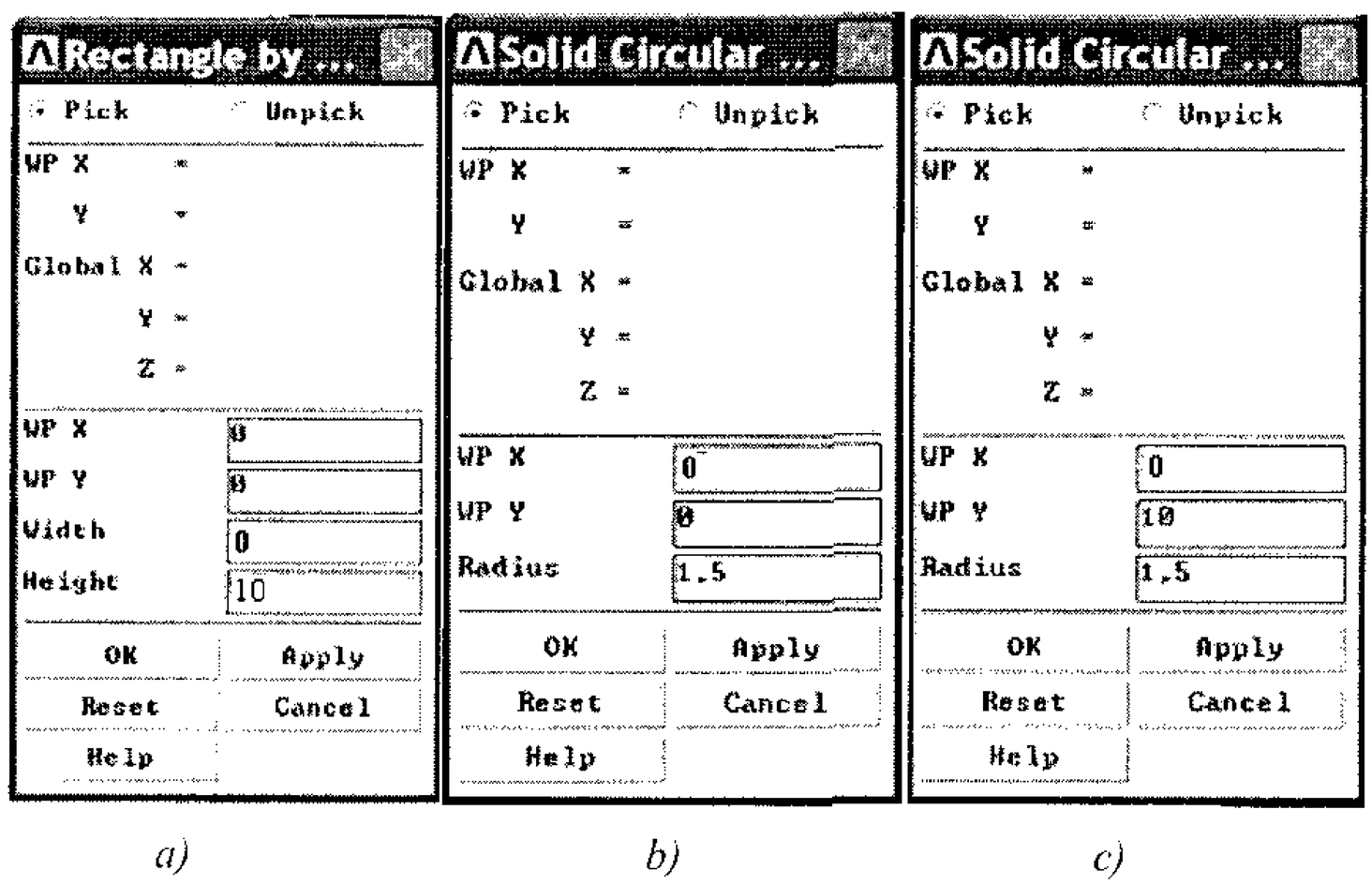
- *Giới hạn phạm vi hiển thị các chức năng*: Bài toán ở ví dụ 4.2 thuộc lĩnh vực kết cấu (Structural), để giới hạn hiển thị này, nhấn chuột vào menu Preferences > Xuất hiện bảng Preferences for GUI Filtering > Nhấn chuột vào ☑ Structural > OK.

- *Chọn loại phần tử*: Trong bài toán này ta chọn phần tử ứng suất phẳng PLANE183 có 8 điểm nút, mỗi nút có 2 thành phần chuyển vị Ux và Uy.

Từ menu Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Xuất hiện Element Type > Nhấn Add > Xuất hiện bảng Library of Element Types > Chọn Solid ở cửa sổ trái và 8nodes 183 ở cửa sổ phải > OK → Xuất hiện lại bảng Element Type và PLANE183 đã được đưa vào danh sách > Nhấn Options > Xuất hiện bảng PLANE183 Element Type Options > Chọn Plane strs/wthk trong Element Behavior K3 > OK.

- *Định nghĩa thuộc tính của vật liệu*: Preprocessor > Material Props > Material Model > Xuất hiện bảng Define Material Model Behavior > Nhấn Structural > Linear > Elastic > Isotropic > Xuất hiện bảng Linear Isotropic Properties for Material 1 > Nhập mô đun đàn hồi EX = 2.1×106daN/cm^2 và hệ số Poisson PRXY = 0.3 > OK, ứng với hệ đơn vị: daN, cm.

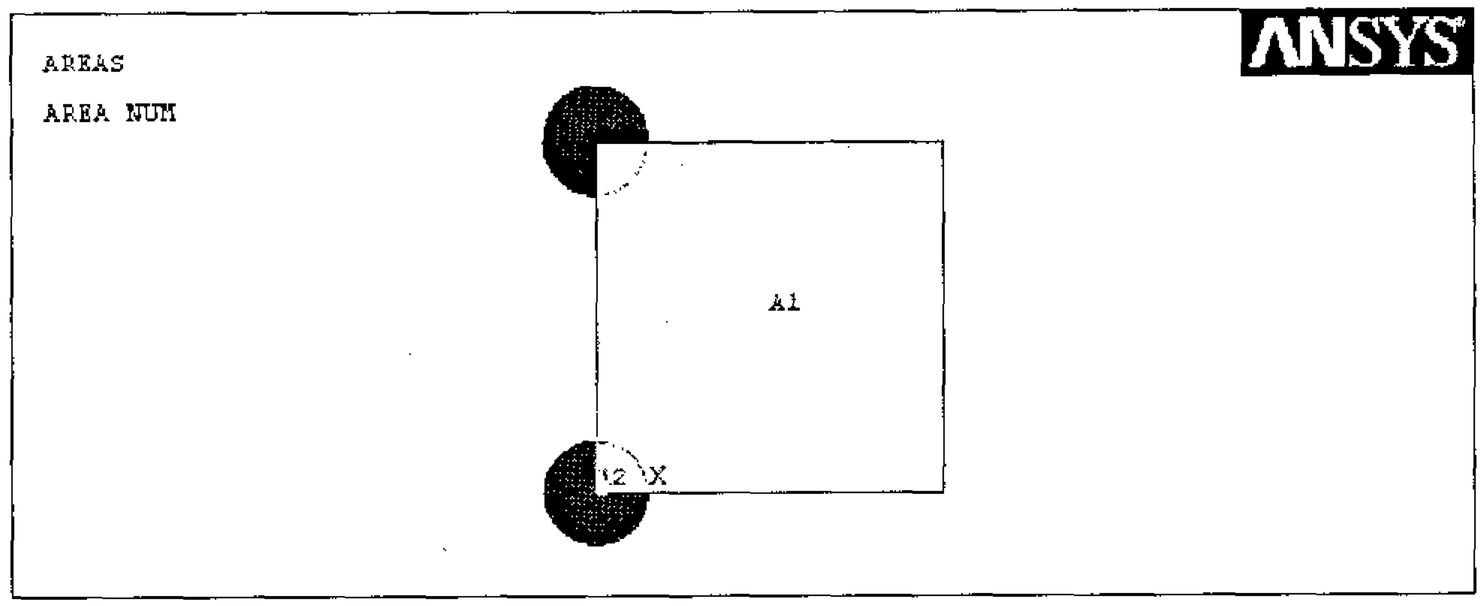
- *Xây dựng mô hình học tấm có khoét hai cạnh*: Bài toán có 2 trục đối xứng, có thể xét 1/2 hoặc 1/4 tấm, ở đây tính cho 1/2 tấm. Từ Preprocessor > Modeling > Create > Areas > Rectangle > Xuất hiện bảng Rectangle by Corners như ở hình 4.31a > Nhập tọa độ điểm góc trái phía dưới (0,0), bề rộng W = 10 và chiều cao H = 10 của mặt tấm > Apply > Có tiết diện A1 > Tương tự tạo tiết diện tròn A2, nhập tọa độ tâm hình tròn dưới (0, 0) và bán kính R = 1.5 như ở hình 4.31b > Apply > Tương tự với A3 như ở hình 4.31c, kết quả ta có 3 diện tích A1, A2, A3 như ở hình 4.32.



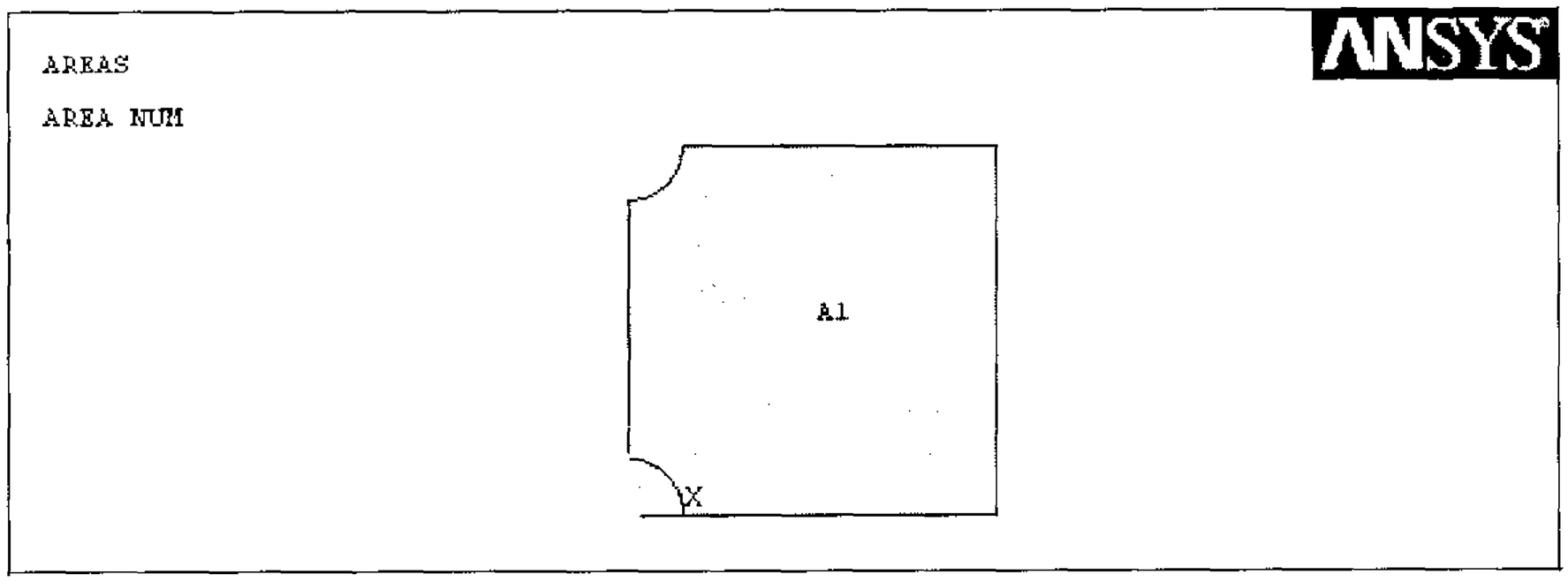
a) *b)* *c)*

Hình 4.31. *Lệnh tạo hình chữ nhật và 2 hình tròn*

Tiếp đến dùng phép trừ (Subtract) của phép toán Boole A4=A1-A2-A3, ta có mặt tấm có khoét lỗ 2 bên. Từ menu Preprocessor > Modeling > Operate > Boolians > Subtract > Xuất hiện bảng Subtract Area > Nhấn chuột vào diện tích A1 > Apply > Nhấn chuột vào diện tích A2 > Apply > Có lỗ khoét thứ nhất. Tiếp tục ta có lỗ khoét thứ hai như ở hình 4.33.

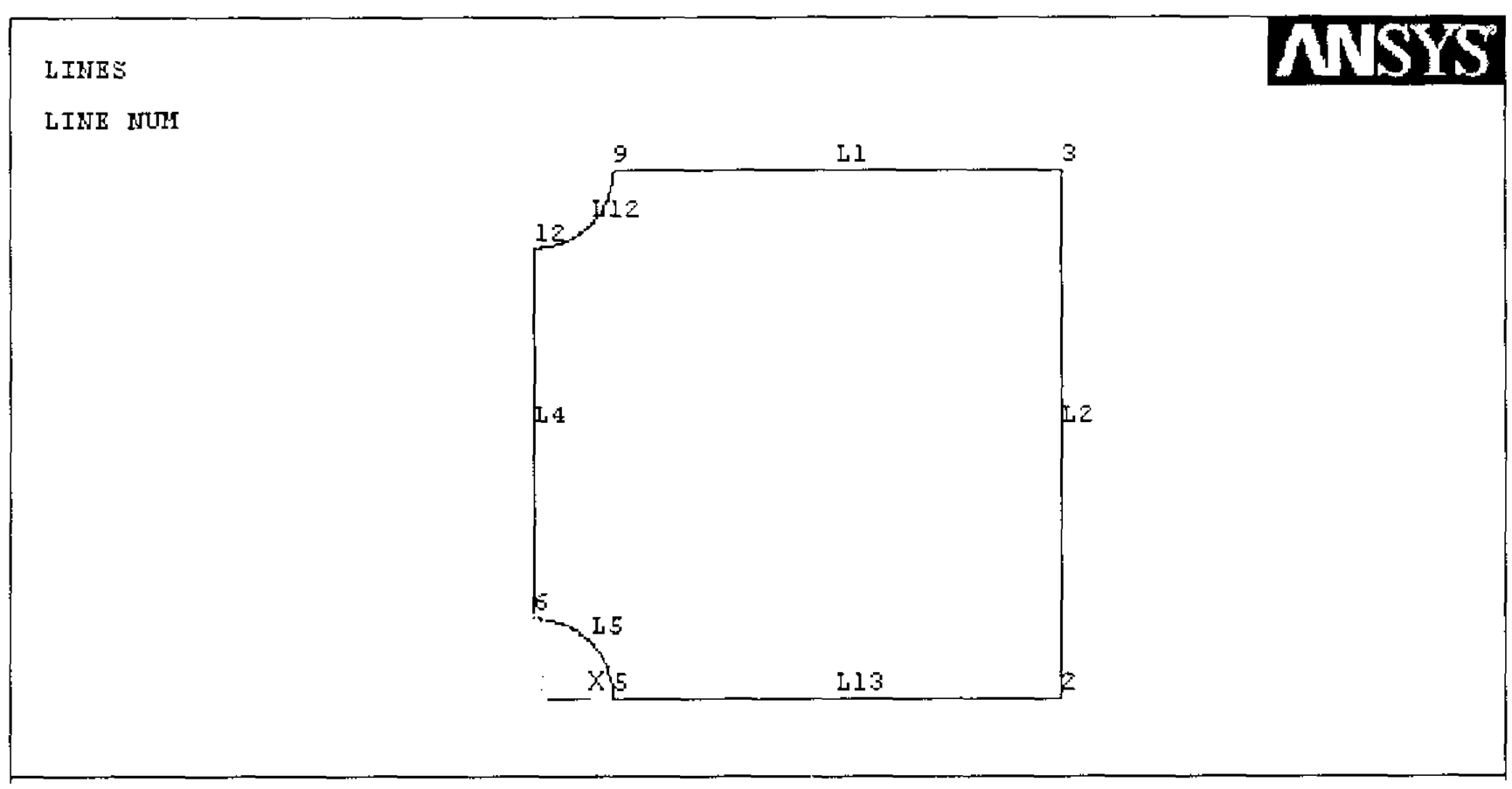


Hình 4.32. *Diện tích A1, A2 và A3 của tấm có lỗ*



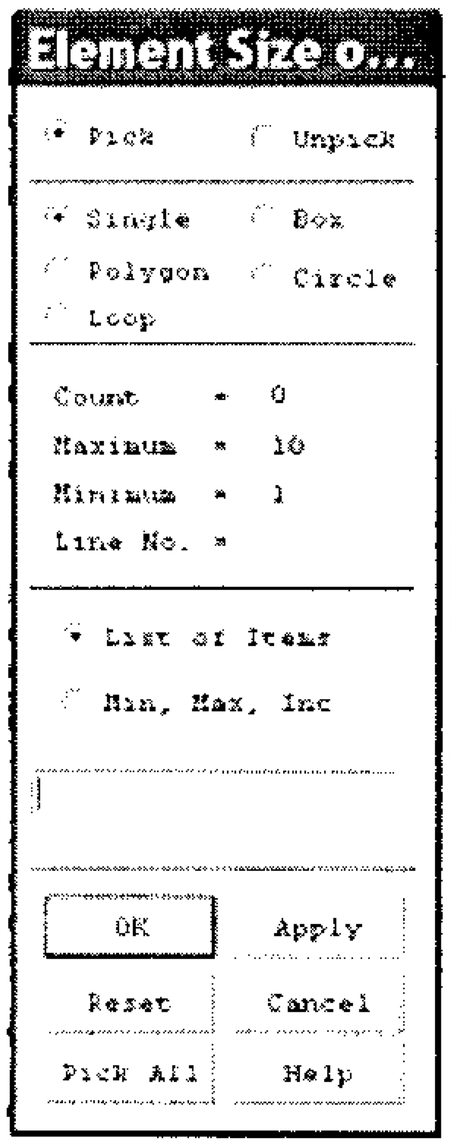
Hình 4.33. *Hình dạng tấm đã khoét lỗ ở hai bên*

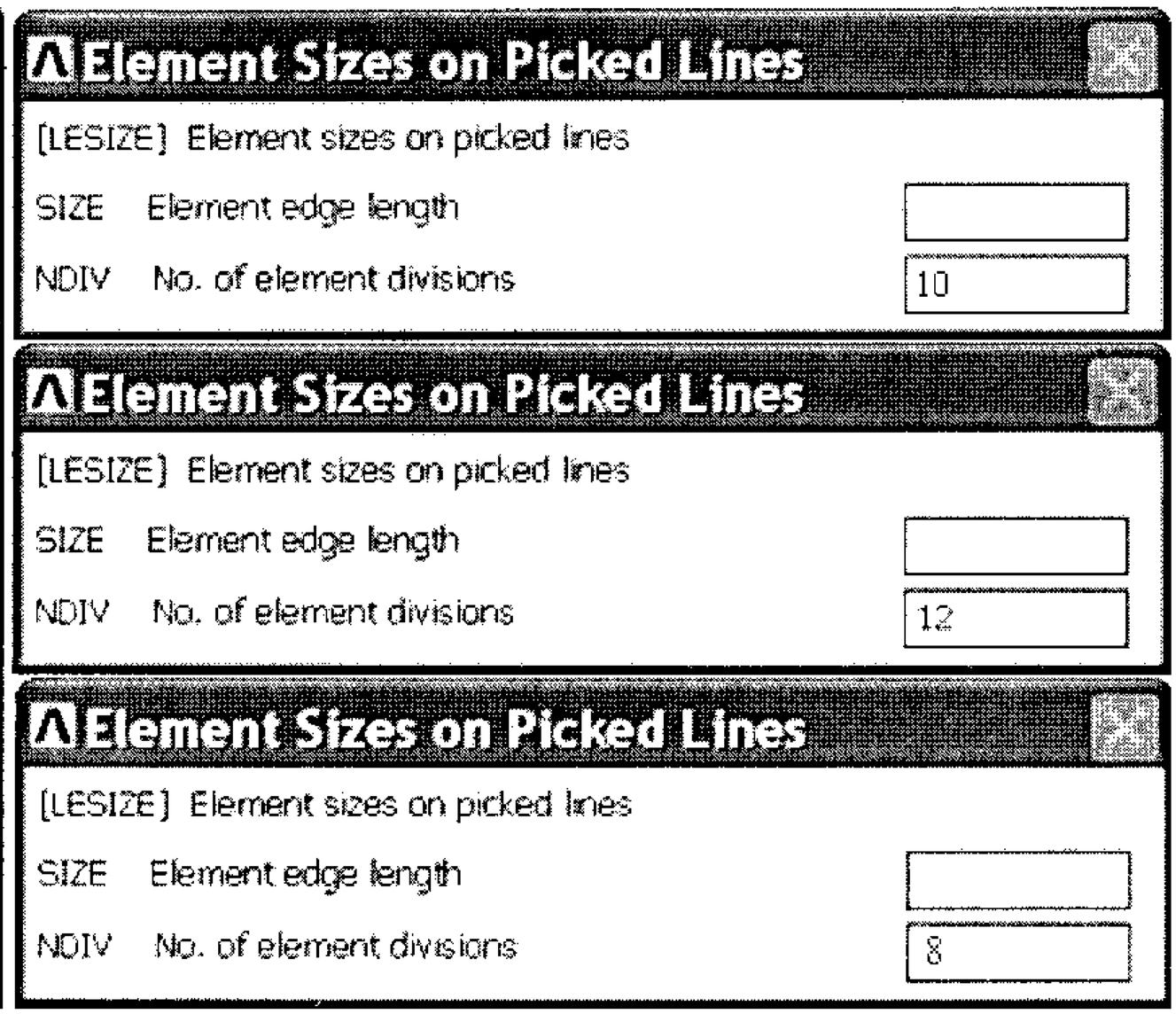
- *Hiển thị điểm và đường chu vi tấm*: Plot > Lines > Plot Cntrls > Numbering > Xuất hiện bảng Plot Numbering Controls > Chọn KP: ☑ On, LINE: ☑ On > OK, ta có mã điểm và mã đường của chu vi tấm khoét lỗ cho ở hình 4.34.



Hình 4.34. *Mã điểm và mã nút của tấm khoét lỗ*

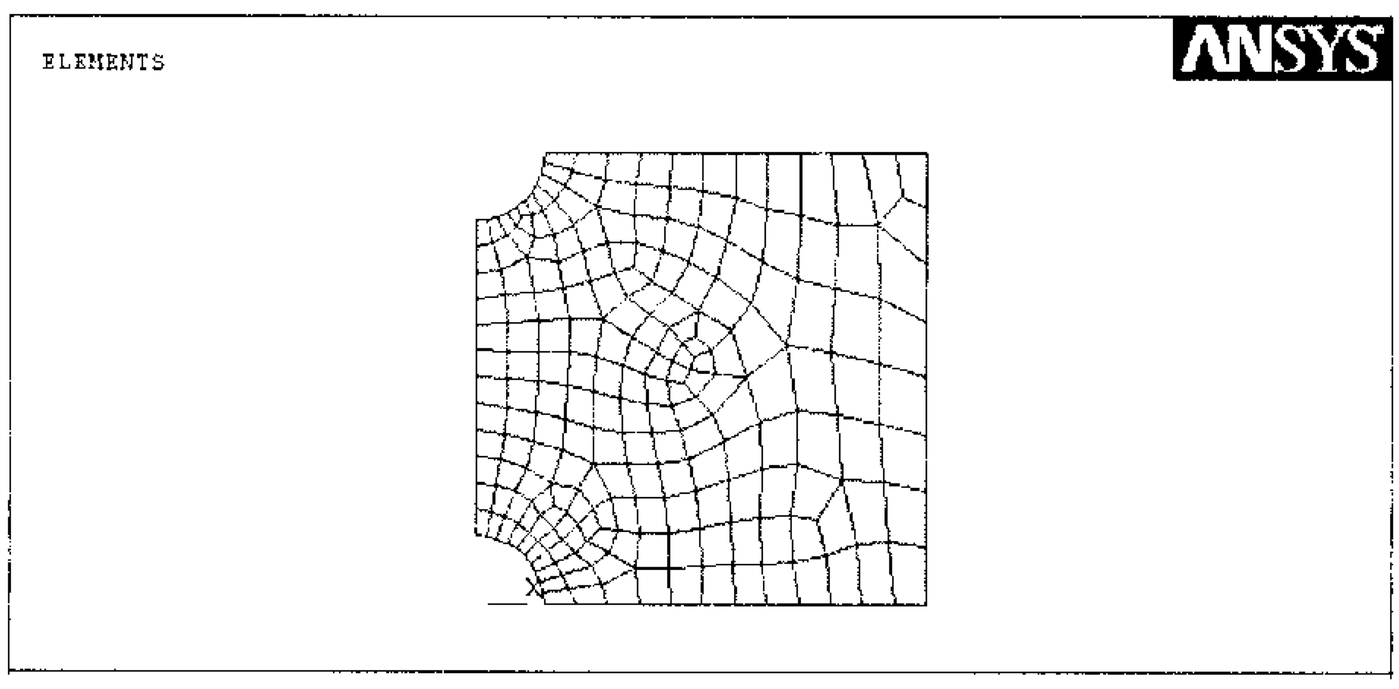
- *Chọn kích thước phần tử đường chu vi tấm*: Từ Preprocessor > Meshing > Size Contrls > ManualSize > Lines > Pick Lines > Xuất hiện bảng Element Size như ở hình 4.35 > Nhấn chuột vào các đường L5, L12 (xem hình 4.34) > Apply > Xuất hiện bảng Element Size on Lines như ở hình 4.36 > Nhập NDIV = 10 > Tiếp theo nhấn chuột vào đường L1, L4, L13 > Apply > Nhập NDIV = 12 > Apply > Nhấn chuột vào đường L2 > Nhập NDIV = 8 > OK.



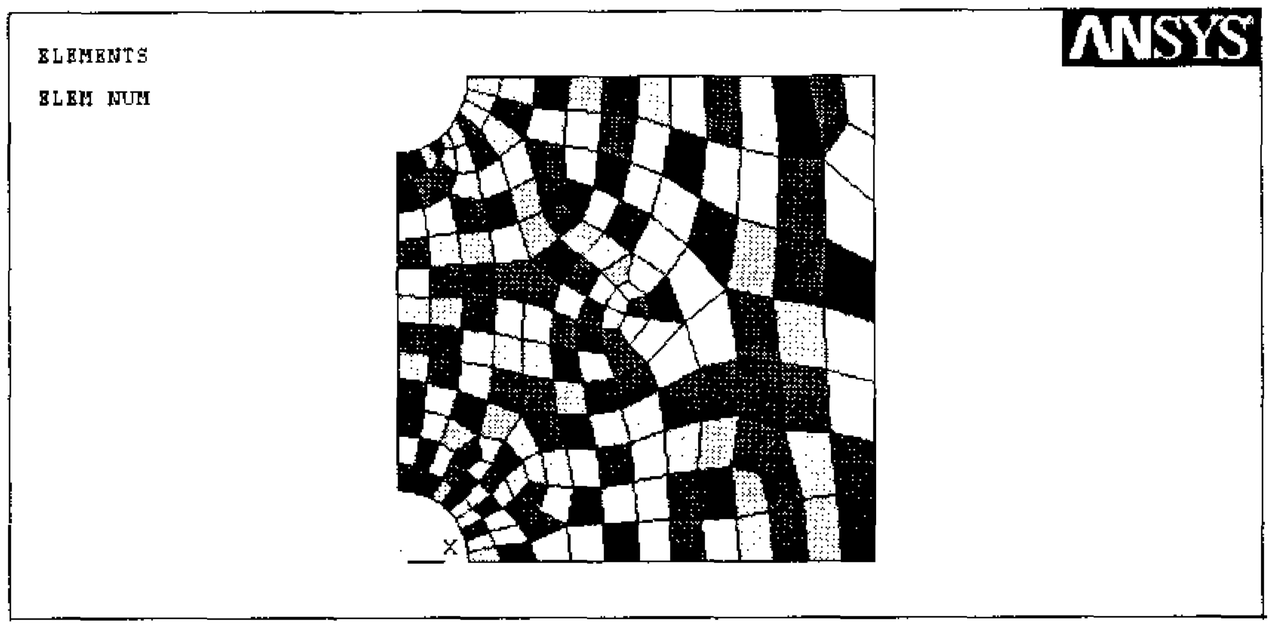


Hình 4.35 ***Hình 4.36.*** *Chọn kích thước đường lưới*

- *Chia lưới phần tử tấm có khoét lỗ*: Từ Preprocessor > Meshing > Mesh > Area > Xuất hiện bảng Mesh Areas > Pick All, ta có mô hình phần tử hữu hạn 1/2 tấm có khoét lỗ ở hai bên như ở hình 4.37 và 4.38.



Hình 4.37. *Mô hình lưới phần tử của tấm*



Hình 4.38. *Phổ mầu mạng lưới phần tử của tấm*

- *Lưu mạng lưới phần tử tấm có lỗ*: Từ menu File > Save as > Xuất hiện cửa sổ Save Database, trong Database Save to nhập tên File là Tam co lo_grid.db > OK.

- *Chọn kiểu phân tích*: Solution > Analysis Type > New Analysis > Xuất hiện bảng New Analysis > Chọn ⊙ Static > OK.

- *Gán ràng buộc chuyển vị vào đường L4 ở (cạnh trái 6-12):* Từ Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > Symmetry CB > On Lines > Xuất hiện bảng Apply Symm on Lines > Chọn đường L4 (xem hình 4.34) > OK.

- *Gán tải trọng phân bố*: Từ Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Lines > Global > Xuất hiện bảng Apply PRES on Lines > Dùng chuột chọn đường L2 > OK > Xuất hiện bảng Apply PRES on Lines > Nhập giá trị áp lực nước đầu I có VALUE=-1500 đầu J với VALUE=-1500 (hoặc để trống) > OK.

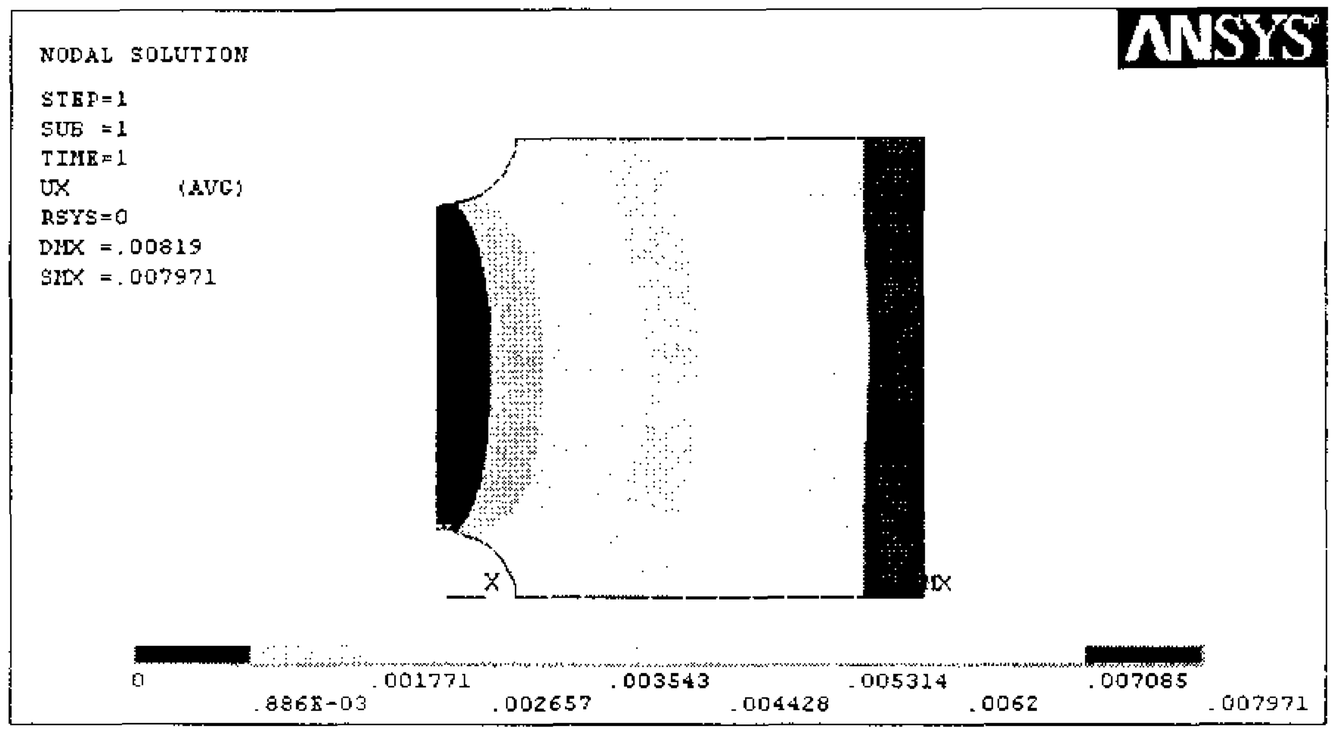
- *Chạy chương trình*: Từ Main Menu > Solution > Solve > Currunt LS > Xuất hiện bảng STATUS Command và bảng Solve current Load Step, thông báo tóm tắt các thông tin trước khi tính toán. Nhấn OK để bắt đầu tính toán đến khi xuất hiện thông báo Solution is done cho biết việc tính toán đã hoàn thành > Close.

b) Khai thác kết quả bài toán

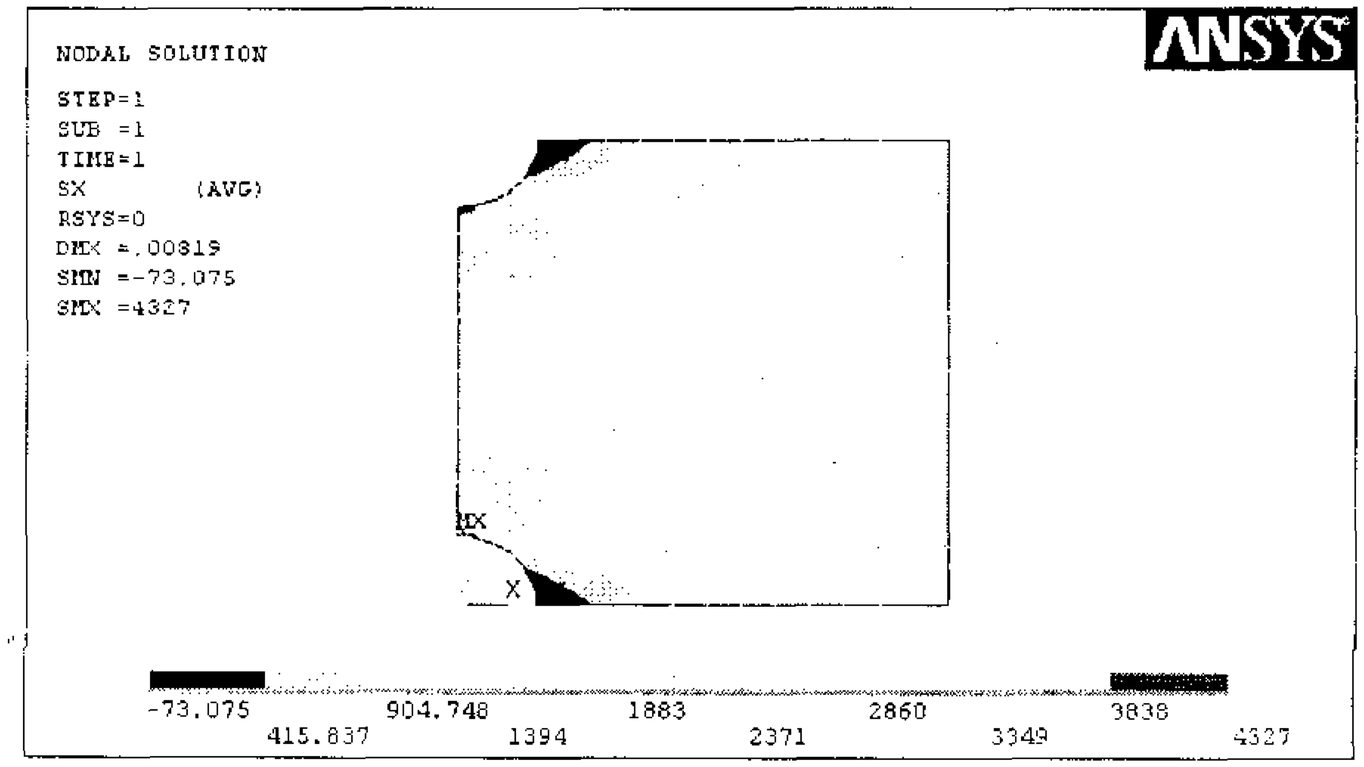
- *Hiển thị phổ chuyển vị của tấm theo phương ngang UX*: General Postproc > Contour Plot Results > Nodal Solution > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data > Nodal Solution > DOF Solution > X-Component of Displacement > OK > Ta có phổ mầu chuyển vị UX như ở 4.39, chuyển vị UX nhỏ nhất SMX = -0.007971m và chuyển vị toàn phần lớn nhất DMX = 0.00819m.

- *Hiển thị phổ ứng suất SX*: Plot Result > Contour Plot > Nodal Solu > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data > Nodal Solution > Stress > X-Component of Stress > OK > Phổ mầu ứng suất SX cho ở hình 4.40, từ hình này cho thấy ứng suất SX lớn nhất SMX = 4227daN/cm^2.

- *Chuyển vị nút của tấm*: General Postprocessor > List Results > Nodal Solution > Xuất hiện bảng List Nodal Solution > Nhấn DOF Solution > X-Comportement of Displacement > OK > Xuất hiện bảng kết quả tính toán giá trị chuyển vị tại các nút của tấm cho ở bảng 4.9. Từ bảng này cho thấy chuyển vị tổng cộng lớn nhất tại nút 26 có USUM = 0.00819m.



Hình 4.39. *Phổ mầu chuyển vị UX của tấm*



Hình 4.40. *Phổ mầu ứng suất SX của tấm khoét lỗ*

Bảng 4.9. Chuyển vị nút của tấm

PRNSOL Command

File

```
PRINT U    NODAL SOLUTION PER NODE

 ***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

 LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
  TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0

 THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

   NODE      UX          UY          UZ          USUM
      1  0.79708E-02 0.45493E-03  0.0000     0.79838E-02
      2  0.35437E-02-0.29035E-04  0.0000     0.35438E-02

     25  0.35341E-02 0.19236E-03  0.0000     0.35393E-02
     26  0.79703E-02-0.18848E-02  0.0000     0.81901E-02
     27  0.79685E-02 0.32177E-03  0.0000     0.79750E-02

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES
NODE        1          59          0          26
VALUE   0.79708E-02-0.20198E-02  0.0000     0.81901E-02
```

- *Ứng suất của tấm*: General Postprocessor > List Results > Nodal Solution > Xuất hiện bảng List Nodal Solution > Nhấn Stress > X-Comportement of > OK > Xuất hiện bảng kết quả tính toán giá trị ứng suất tại các nút của tấm cho ở bảng 4.10. Từ bảng này cho thấy ứng suất SX lớn nhất tại nút 86 có SMX = 4327.1daN/cm^2.

Bảng 4.10. Ứng suất tại các nút của tấm

PRNSOL Command

File

```
PRINT S    NODAL SOLUTION PER NODE

 ***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****
 PowerGraphics Is Currently Enabled

 LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
  TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0
 NODAL RESULTS ARE FOR MATERIAL   1

 THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

   NODE     SX          SY          SZ          SXY         SYZ         SXZ
      1   1500.9      2.3511      0.0000      0.44158     0.0000      0.0000
      2  -73.075     -11.985      0.0000       11.757     0.0000      0.0000
      4   1500.6      2.3487      0.0000       1.9829     0.0000      0.0000

MINIMUM VALUES
NODE          2         613           1         123           1           1
VALUE    -73.075     -150.97      0.0000     -1289.0      0.0000      0.0000

MAXIMUM VALUES
NODE         86          74           1          72           1           1
VALUE    4327.1      946.93      0.0000      1331.4      0.0000      0.0000
```

- *Phản lực liên kết*: General Postprocessor > List Results > Reaction Solution > Xuất hiện bảng List Reaction Solution > Chọn All Items > OK > Xuất hiện bảng PRRSOL Command cho kết quả tính toán các thành phần phản lực liên kết cho ở bảng 4.11. Từ bảng 4.11 cho biết tổng giá trị phản lực ngang $\sum FX$ = -15000daN bằng tổng hợp lực phân bố đều tác dụng lên tấm $\sum FX = 1500 \times 10 \times 1 = 15000$daN.

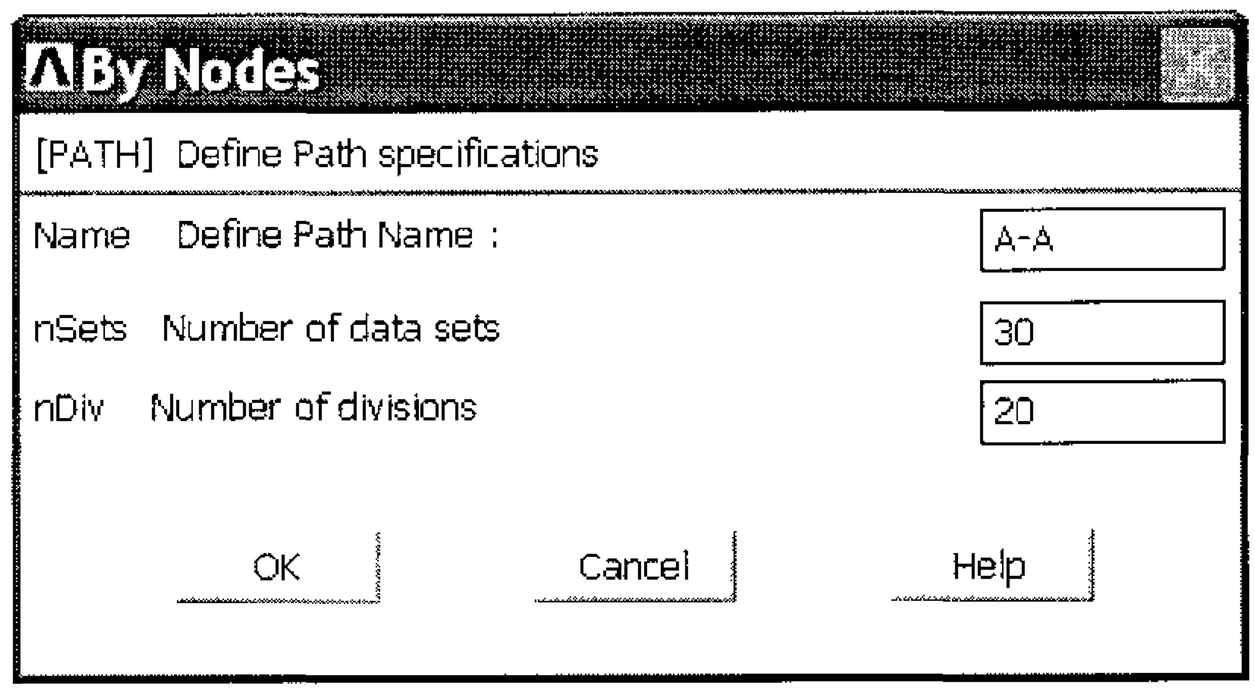
Bảng 4.11. Phản lực liên kết

PRRSOL Command

File

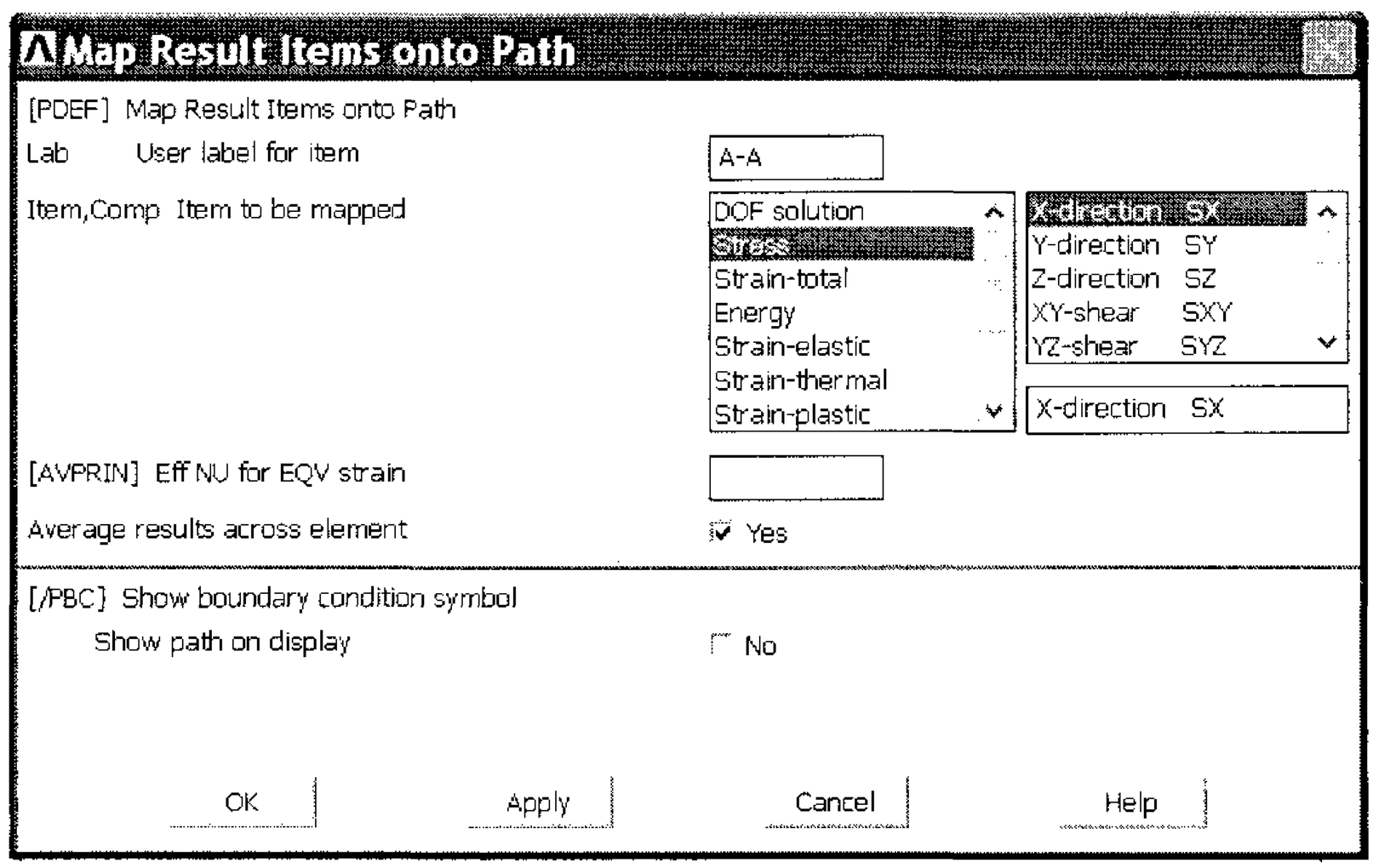
```
PRINT REACTION SOLUTIONS PER NODE

 ***** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING *****

 LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
  TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0

 THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

   NODE       FX          FY

TOTAL VALUES
VALUE    -15000.      0.0000
```

- *Biểu đồ ứng suất SX tại mặt cắt A-A*: General Postprocessor > Past Operation > Define Path > By Path > Chọn 2 nút A và B ở 2 đầu mặt cắt > Xuất hiện bảng By Nodes như ở hình 4.41 > Nhập NAME: MC A-B > OK > Định nghĩa biểu đồ ứng suất SX tại mặt cắt A-B.



***Hình 4.41**. Định nghĩa tên mặt cắt A-A*

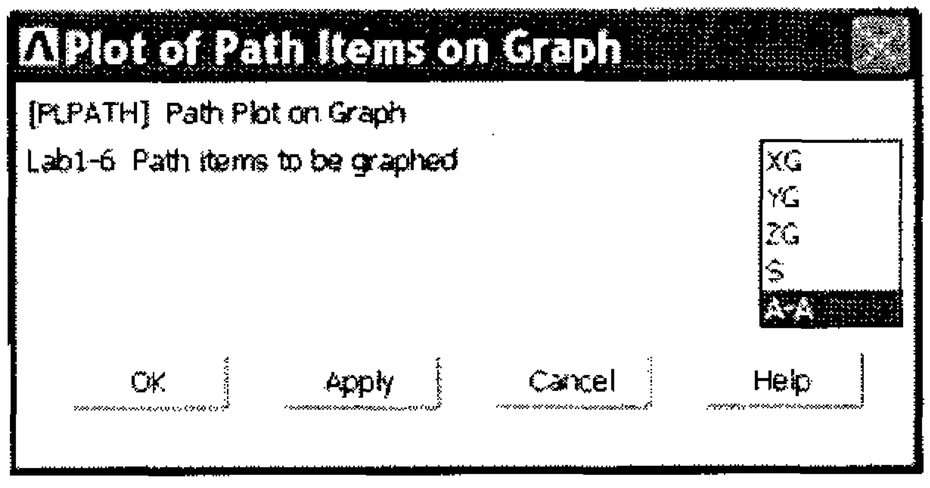
Tiếp theo nhấn Map onto Path > Xuất hiện bảng Map Result Items onto Path như ở hình 4.42 > Nhập Lab: A-A và trong cửa sổ trái Item chọn Stress, trong cửa sổ phải Comp Item chọn X-direction SX > OK.



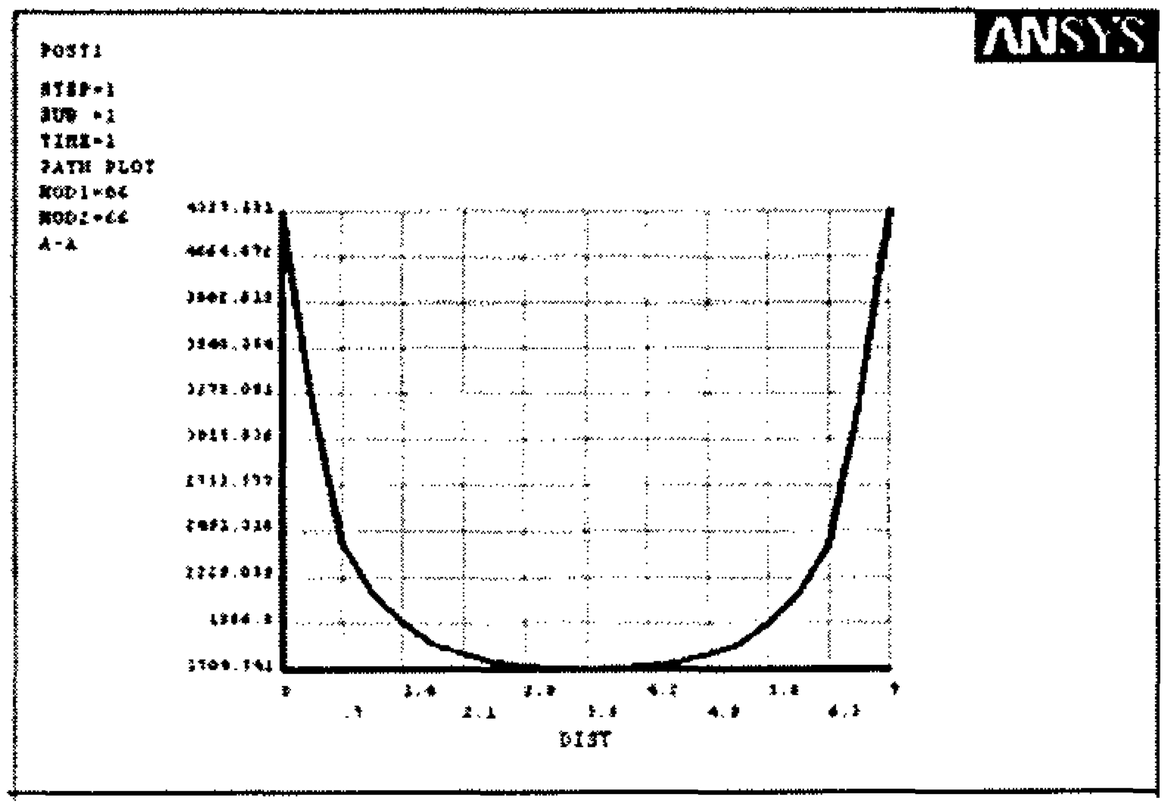
***Hình 4.42.** Lệnh chọn đối tượng xuất*

Nhấn chuột vào Plot Path Item > On Graph > Xuất hiện bảng Plot of Path Item on Graph như ở hình 4.43 > Chọn A-A ở cửa sổ phải > OK. Ta có biểu đồ ứng suất SX của mặt cắt A-A đi qua tâm hai lỗ khoét như ở hình 4.44.

Từ hình 4.44 cho biết ứng suất tập trung lớn nhất ở hai đầu tại nút 66 và 86 có SMX = 4227.121daN/cm^2 và ứng suất nhỏ nhất SMN = 1704.541daN/cm^2 ở giữa mặt cắt tại nút 98. Điều này cũng đã được chỉ ra ở bảng 4.10.



Hình 4.43. Lệnh xuất biểu đồ



Hình 4.44. Biểu đồ SX tại mặt cắt A-A

2. Phương thức COMMAND

```
/TITLE,Vidu 3.1-Dam cao
/PREP7
ET,1,PLANE183          !Chọn phần tử phẳng 4 nút PLANE183
R,1,1                  !Hằng số thực với chiều dày 1cm
KEYOPT,1,3,2           !Bài toán ứng suất phẳng
MP,EX,1,2.1E+06        !Mô đun đàn hồi của vật liệu
MP,PRXY,1,0.3          !Hệ số Poisson
RECTANG,0,10,0,10      !Hình chữ nhật 10×10cm
CIRCLE,S,0,0,1.5       !Hình tròn tọa độ tâm (0,0) bán kính R=1.5cm
/PNUM,KP,ON            !Hiển thị mã các điểm đặc trưng
A,1,2,3,4              !Mặt được tạo từ các điểm 1, 2, 3, 4
LSEL,S,,,1             !Chọn đường thẳng L1
LESIZE,ALL,,,10        !Phân chia đường L1 thành 10 đoạn
```

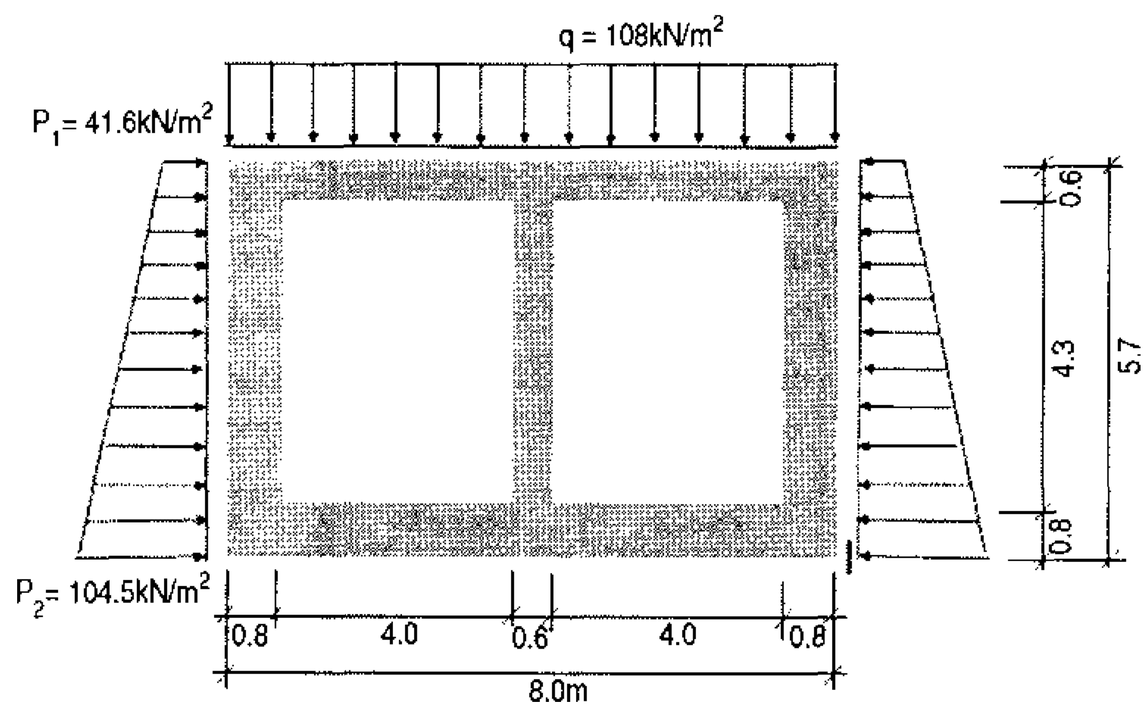
```
LSEL,S,,,2              !Chọn đường thẳng L2
LESIZE,ALL,,,2          !Phân chia đường L2 thành 32 đoạn
LSEL,S,,,3              !Chọn đường thẳng L3
LESIZE,ALL,,,10         !Phân chia đường L3 thành 6 đoạn
LSEL,S,,,4              !Chọn đường thẳng L4
LESIZE,ALL,,,2          !Phân chia đường L4 thành 4 đoạn
AMESH,ALL               !Chia lưới phần tử của đập
ACEL,0,9.81             !Gán gia tốc trọng trường
SFL,3,PRES,0,400        !Gán áp lực nước
DK,1,All                !Gán khớp cố định tại nút 1
DK,2,UY,0               !Gán khớp di động tại nút 2
/SOLU
ANTYPE,STATIC           !Phân tích tĩnh tải
SOLVE                   !Tiến hành giải
/POST1
PLDISP,1                !Vẽ biến dạng dầm
PLNSOL,U,Y              !Vẽ phổ chuyển vị dầm theo phương Y
PLNSOL,S,X              !Vẽ phổ ứng suất dầm theo phương X
FINISH
```

3. Phương thức APDL

Lập trình cho phương thức giải APDL > Copy các lệnh trên đã được soạn thảo trong Word sang phần mềm Notepad với tên file Vi du 4.2-Tam co lo khoet.txt trong thư mục Z BT-ANSYS (4) ổ D\Tìm file Vi du 4.2-Tam co lo khoet.txt theo đường dẫn → D\ → Z BT-ANSYS (4) → Vi du 4.2-Tam co lo khoet.txt.

• **Ví dụ 4.3. Cống hộp**

Xác định ứng suất và chuyển vị của cống 2 khoang đặt trên nền cứng, có kích thước và chịu tải trọng như ở hình 4.45. Vật liệu bê tông B20 có $E_b = 2.4\times107kN/m^2$, $\mu_b = 0.2$, $\gamma_b = 24kN/m^3$. Cống đặt trên đá cứng.



Hình 4.45. Sơ đồ tính toán cống

Phương thức GUI

a) Xây dựng mô hình và giải bài toán

- *Đặt tên File bài toán*: Khởi động ANSYS, nhấn chuột vào biểu tượng > Xuất hiện bảng New Analysis > Nhập "Vi du 4.3-Cong ngam" trong cửa sổ Analysis Jobname > OK.

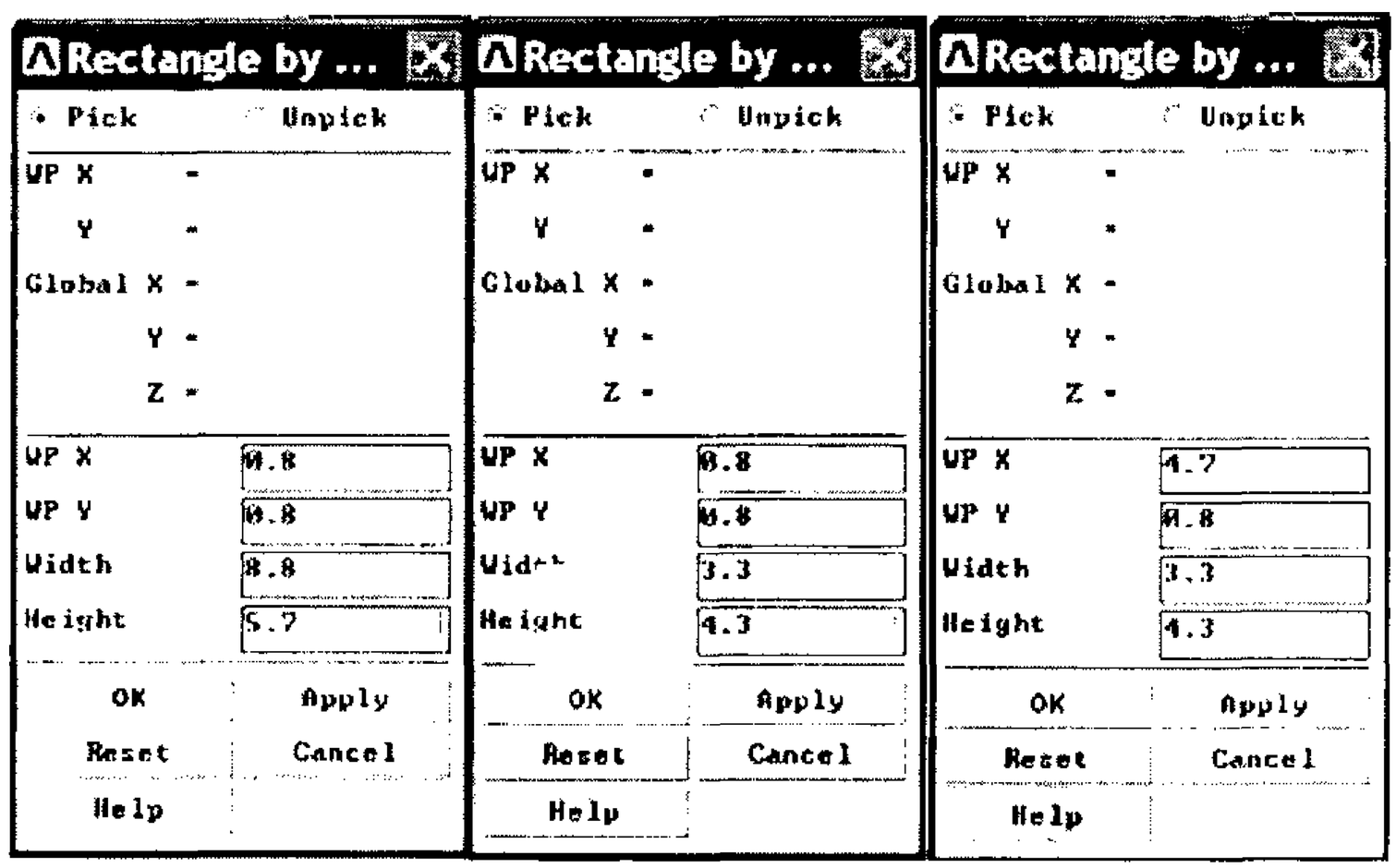
Đặt tên bài toán chi tiết hơn, từ menu File > Change Title > Xuất hiện bảng Change Title > Nhập "Ví dụ 4.3- Cong hop 2 khoang" vào cửa sổ nhỏ của Title.

- *Giới hạn phạm vi hiển thị các chức năng*: Bài toán ở ví dụ 4.3 thuộc lĩnh vực kết cấu (Structural), để giới hạn hiển thị này, nhấn chuột vào menu Preferences > Xuất hiện bảng Preferences for GUI Filtering > Nhấn chuột vào ☑ Structural > OK.

- *Chọn loại phần tử*: Trong bài toán này ta chọn phần tử phẳng Plane183 có 8 điểm nút, mỗi nút có 2 thành phần chuyển vị UX và UY.

Từ menu Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Xuất hiện Element Type > Nhấn Add > Xuất hiện bảng Library of Element Types > Chọn Solid ở cửa sổ trái và 8nodes 183 ở cửa sổ phải > OK → Xuất hiện lại bảng Element Type và Plane183 đã được đưa vào danh sách > Nhấn Options > Xuất hiện bảng PLANE183 element type options > Chọn Plane strain trong Element Behavior K3 > OK > Hoàn thành định nghĩa phần tử Plane183.

- *Định nghĩa thuộc tính của vật liệu*: Chọn hệ đơn vị: kN, m. Từ Preprocessor > Material Props > Material Model > Xuất hiện bảng Define Material Model Behavior > Nhấn nút Structural > Linear > Elastic > Isotropic. Xuất hiện bảng Linear Isotropic Properties for Material > Vật liệu bê tông B200 nhập mô đun đàn hồi EX = 2.4×107kN/m^2 và hệ số Poisson PRXY = 0.2 > Nhấn Density > Xuất hiện bảng Density for Material Number 1 > Nhập DENS = 2.449kNs^2/m^4 > OK.

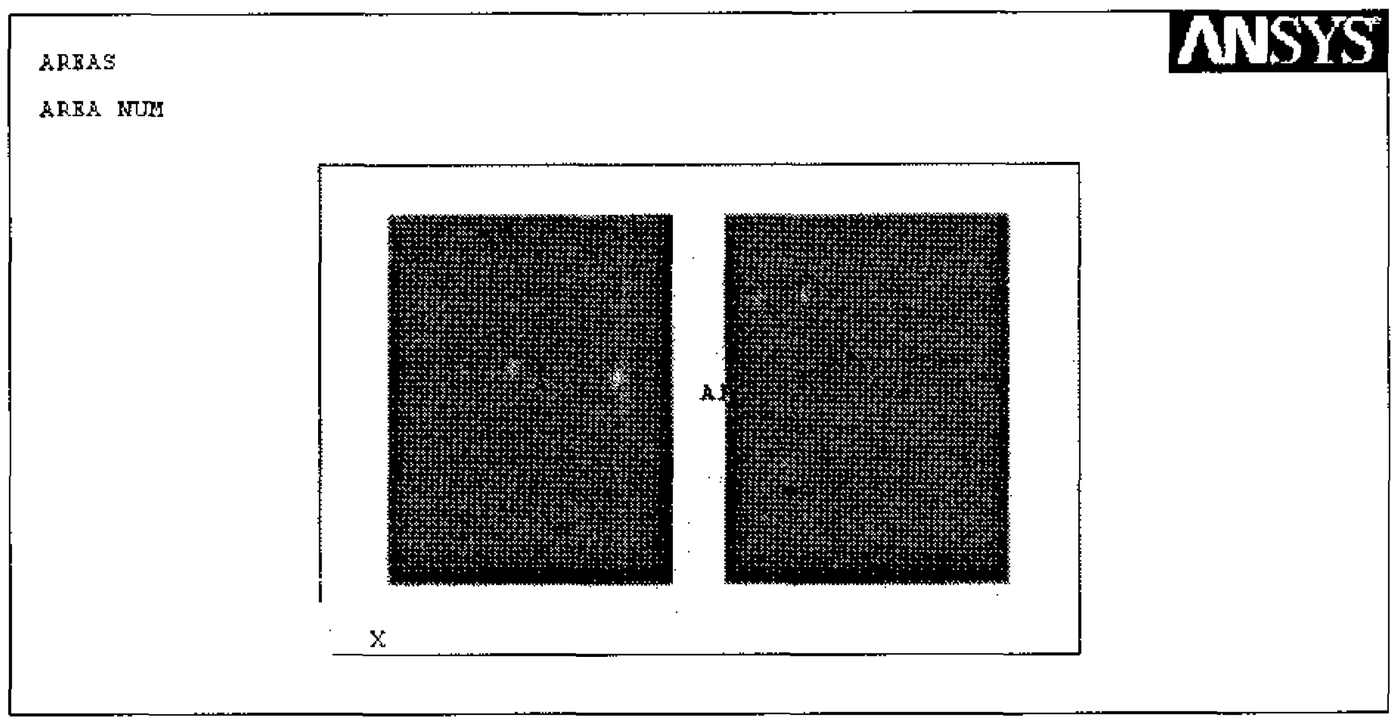


a) *b)* *c)*

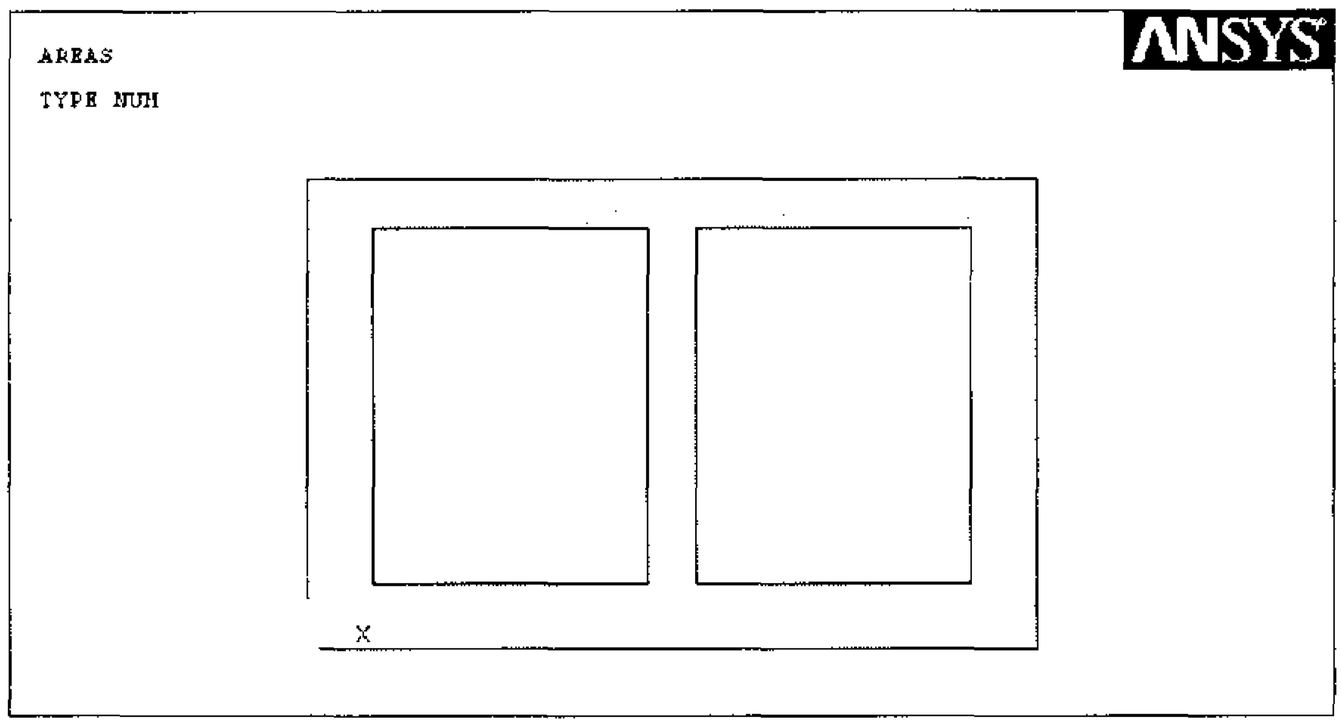
Hình 4.46. *Lệnh tạo hình chữ nhật*

- *Xây dựng mô hình mặt cắt ngang cống*: Từ Preprocessor > Modeling > Create > Areas > Rectangle > Xuất hiện bảng Rectangle by Corners như ở hình 4.46a > Nhập tọa độ điểm góc trái phía dưới, bề rộng và chiều cao mặt cắt ngang cống > Apply > Tạo tiết diện A1 > Tương tự tạo tiết diện A2 và A3 như ở hình 4.47 ứng với hình 4.46b và c, nhập tọa độ điểm góc trái, bề rộng và chiều cao của lỗ cống trái và lỗ cống phải.

Tiếp đến dùng phép trừ của phép toán Boole A4 = A1-A2-A3, ta có mặt cắt ngang của cống. Từ menu Preprocessor > Modeling > Operate > Boolians > Subtract > Xuất hiện bảng Subtract Area > Nhấn chuột vào diện tích nền A1 > Apply > Nhấn chuột vào diện tích A2 > Apply > Có khoang cống thứ nhất. Tiếp theo ta có khoang cống thứ hai như ở hình 4.48.



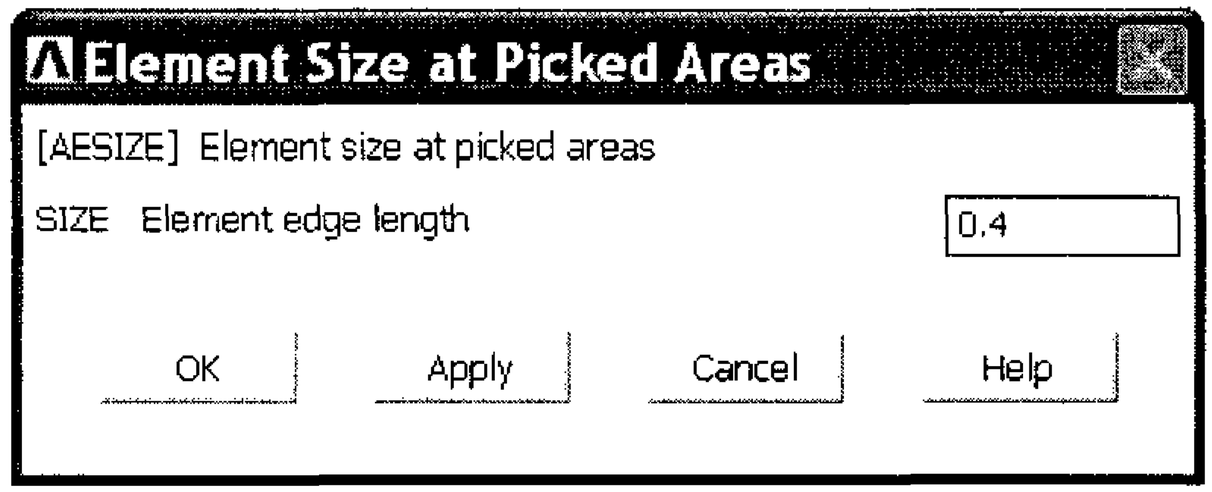
Hình 4.47. *Diện tích A1, A2 và A3 của cống*



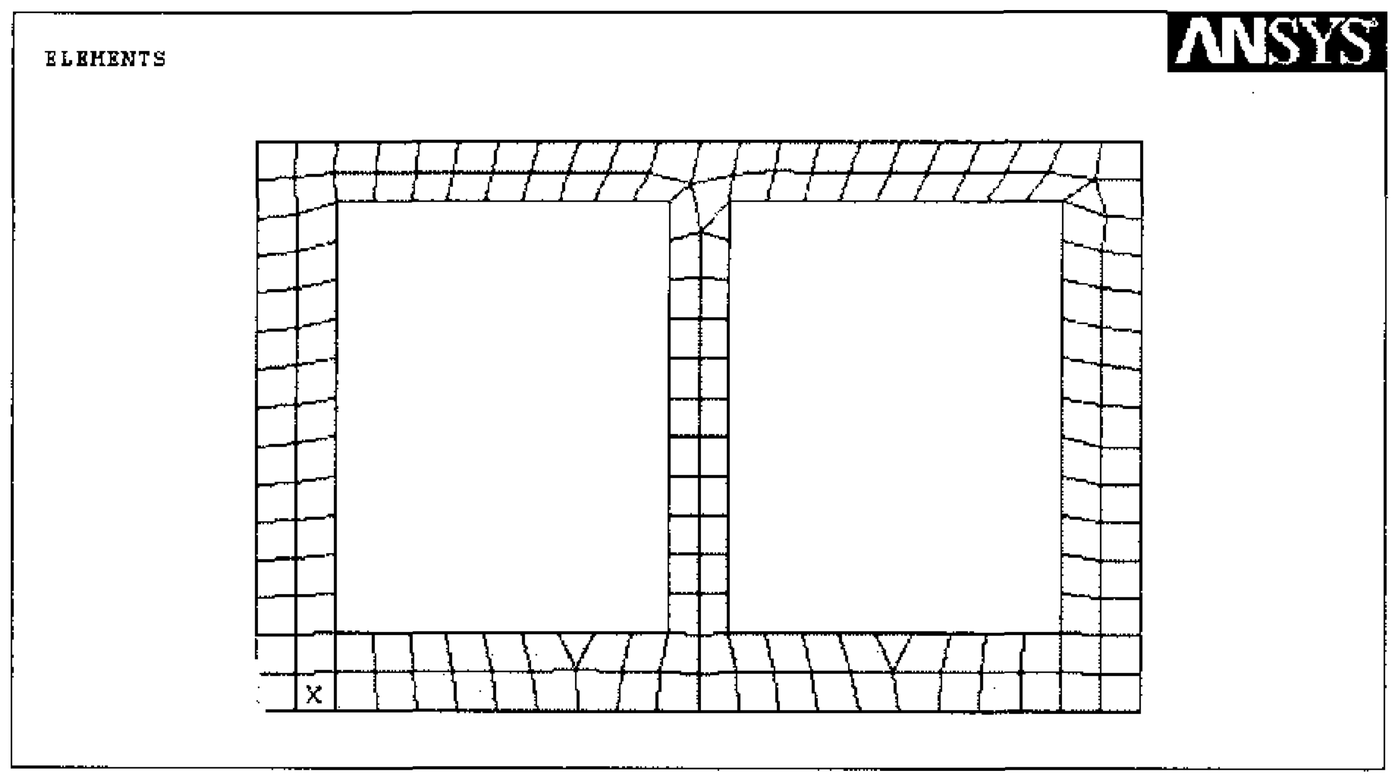
Hình 4.48. *Mô hình mặt cắt ngang cống*

- *Chọn kích thước phần tử*: Từ Preprocessor > Meshing > Size Contrls > ManualSize > Areas > All Areas > Xuất hiện bảng Element Size at Picked Areas như ở hình 4.49.

- *Chia lưới phần tử đập*: Từ Preprocessor > Meshing > Mesh > Area > Xuất hiện bảng Mesh Areas > Pick All, ta có mô hình phần tử hữu hạn cống như ở hình 4.50.



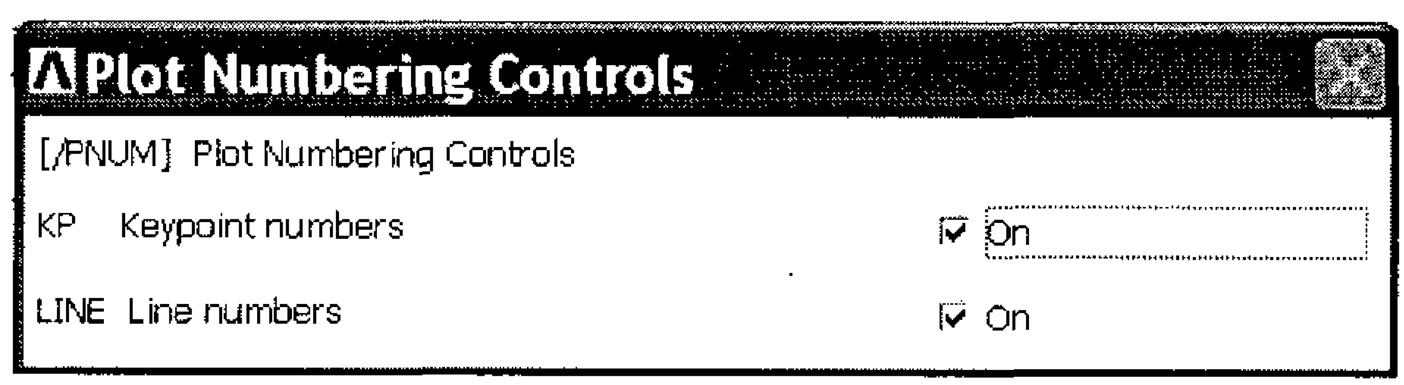
Hình 4.49. *Chọn chiều dài phần tử*



Hình 4.50. *Mạng lưới phần tử mô hình cống*

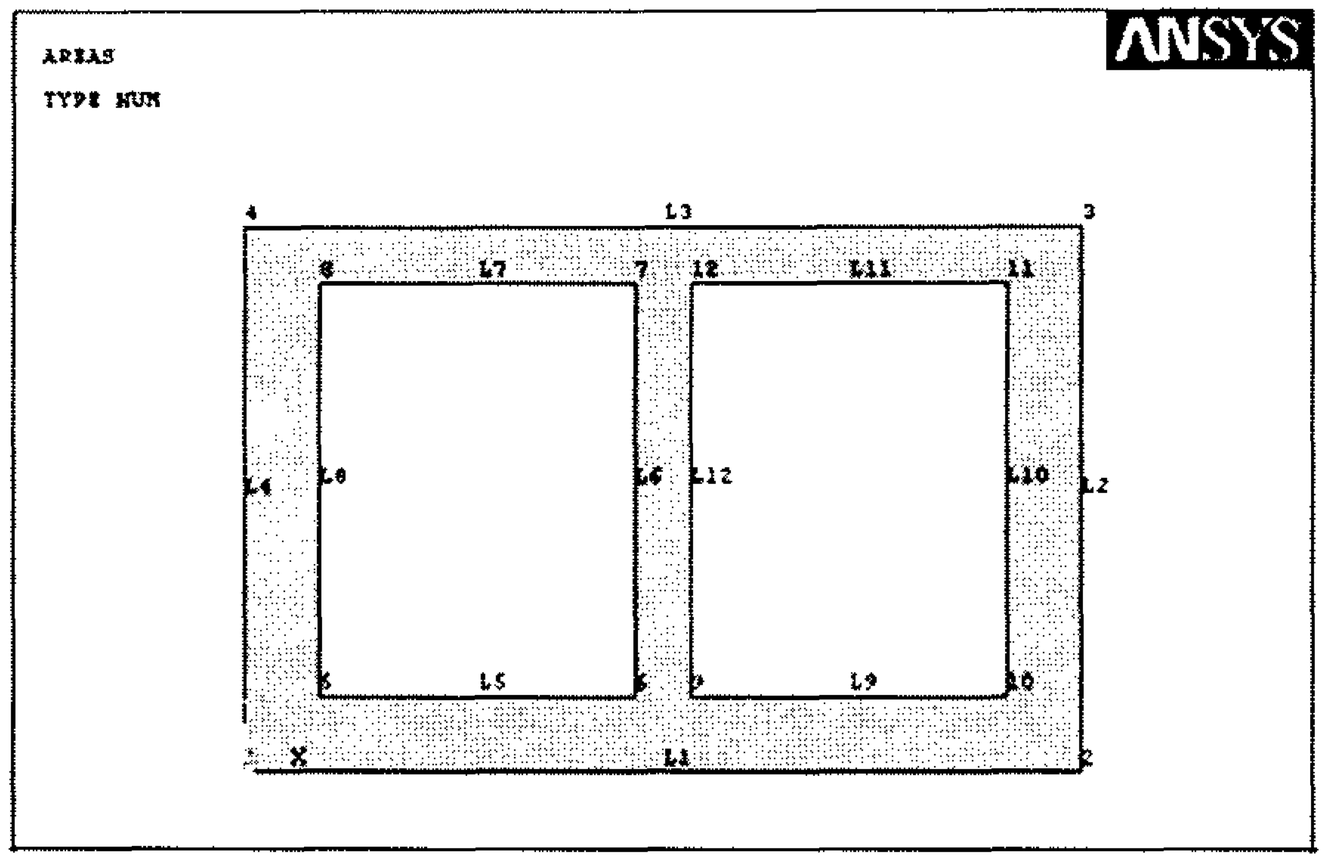
- *Lưu mạng lưới phần tử đập* - Từ menu File > Save as > Xuất hiện cửa sổ Save Database, trong Database Save to nhập tên File là Cong ngam_grid.db > OK.

- *Hiển thị điểm và đường của chu vi cống*: Từ menu Plot > Areas → Từ menu PlotCntrls > Numbering > Xuất hiện Plot Numbering Controls như ở hình 4.51 > Chọn KP ☑ On và LINE KP ☑ On > OK, ta có mã nút và mã đường của mặt cắt ngang cống cho ở hình 4.52.



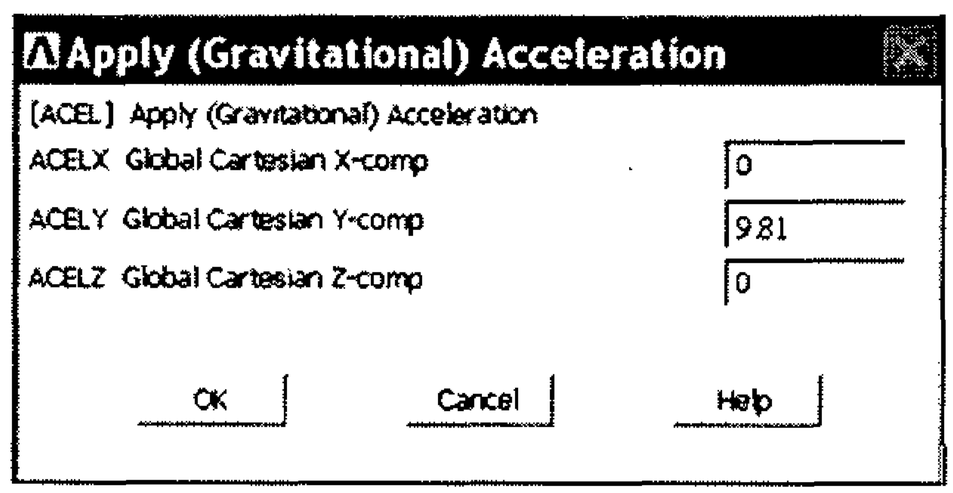
Hình 4.51. *Lệnh xuất mã nút và mã đường mặt cắt ngang cống*

- *Gán ràng buộc chuyển vị ở đáy cống*: Từ Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Lines > Xuất hiện bảng Apply U, ROT on Lines > Chọn đường L1 (xem hình 4.52) > OK > Xuất hiện bảng Apply U, ROT on Lines > Chọn All DOF, trong Displacement Value nhập giá trị 0 > OK.

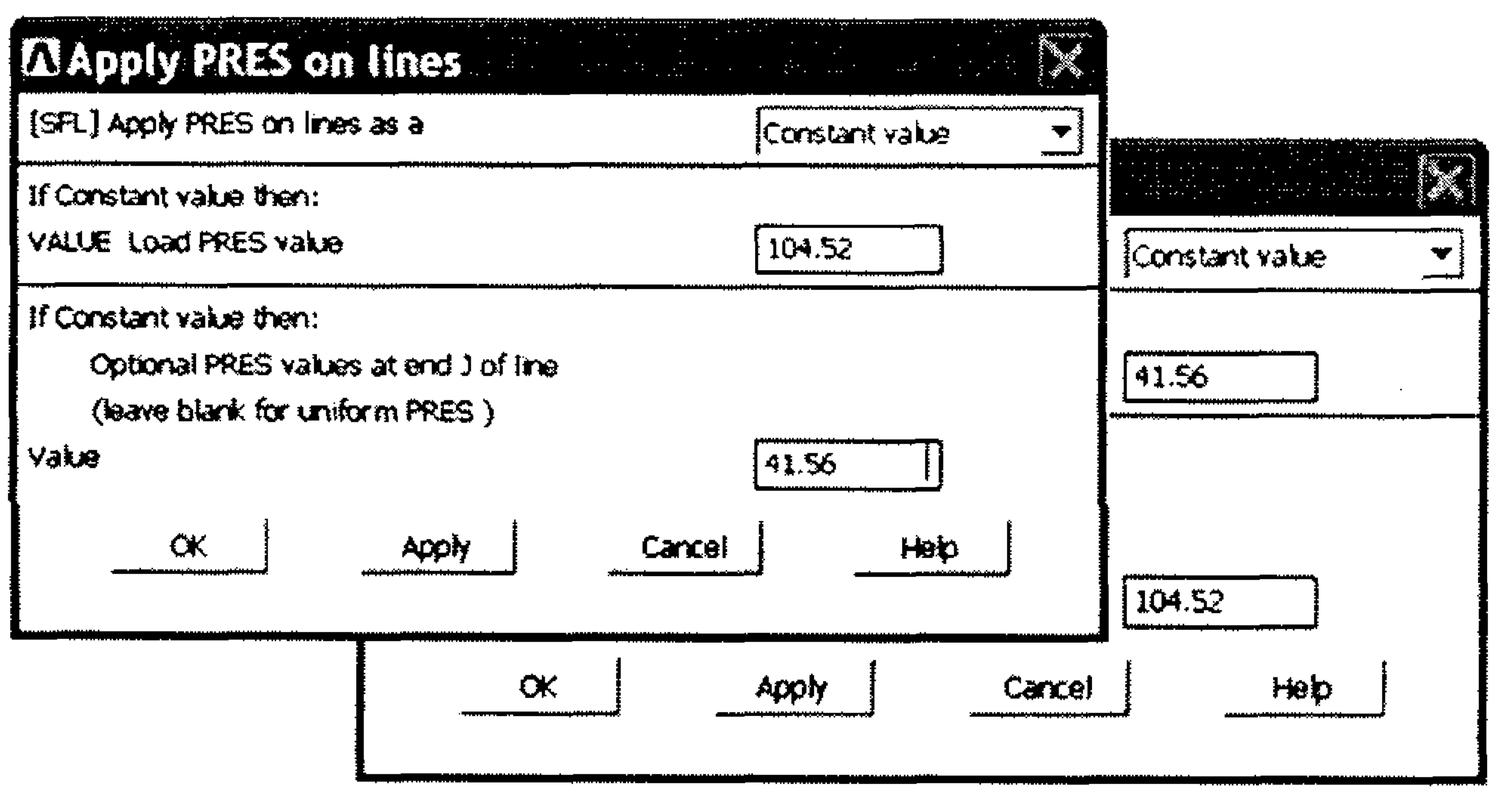


Hình 4.52. Mã nút và mã đường mặt cắt ngang cống

- *Gán gia tốc trọng trường*: Từ Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Inertia > Gravity > Global > Xuất hiện bảng Apply (Gravitational) Acceleration như ở hình 4.53, trong ACELY Global Acceleration-com nhập 9.81 > OK.



Hình 4.53. Gán gia tốc trọng trường



Hình 4.54. Gán giá trị áp lực nước vào hai bên thành cống

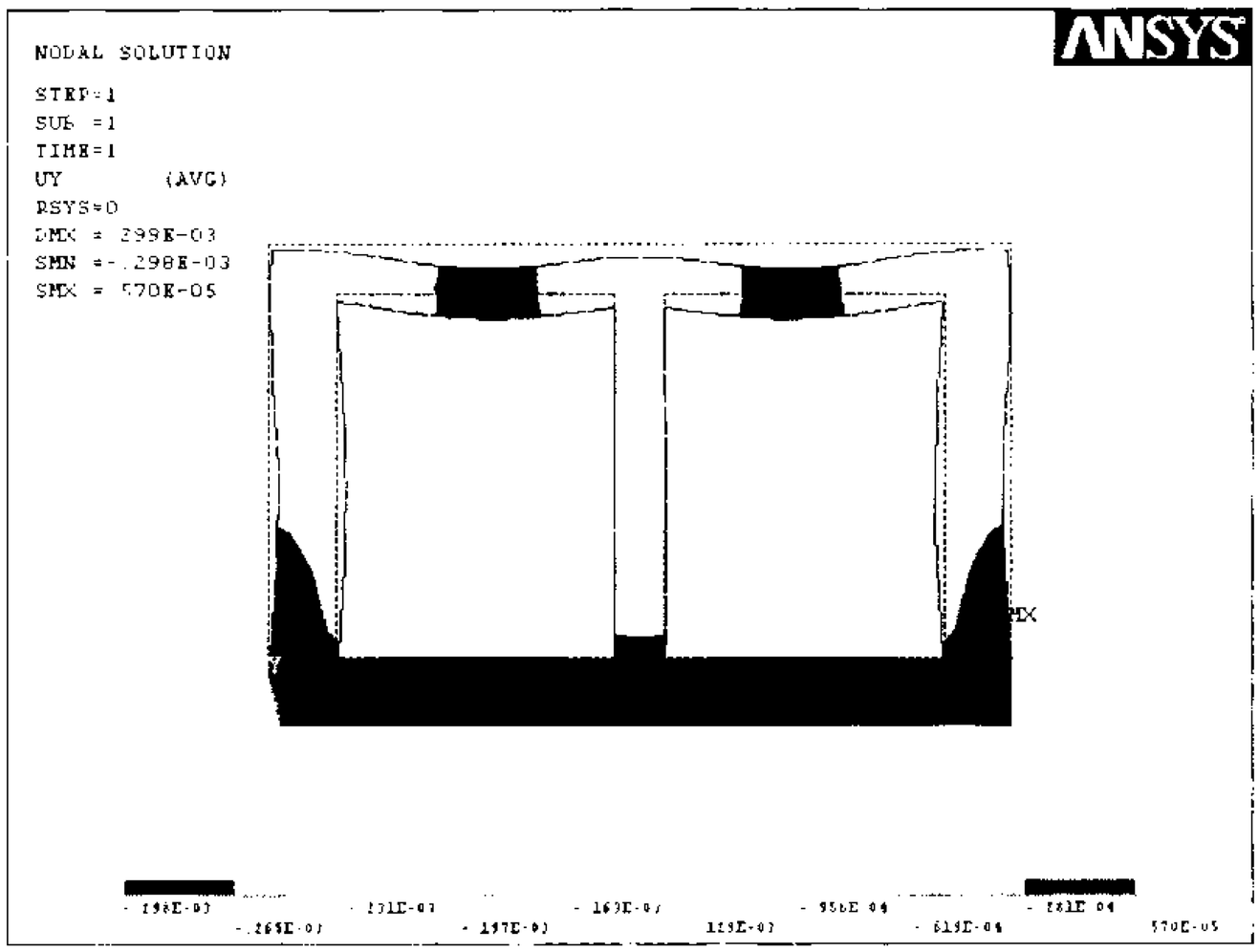
- *Gán áp lực nước:* Từ Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Lines > Global > Xuất hiện bảng Apply PRES on Lines > Dùng chuột chọn đường L2 > Apply > Xuất hiện bảng Apply PRES on Lines như ở hình 4.54 > Nhập giá trị áp lực nước đầu I có VALUE = 104.52 đầu J với VALUE = 41.56 > Apply > Chọn đường L4 > Apply > Nhập đầu I với VALUE = 41.56 và đầu J với VALUE = 104.52 > Apply > Chọn đường L3 > OK > Nhập tải trọng phân bố đều đầu I với VALUE = 108 và đầu J với VALUE = 108 (hoặc để trống) > OK.

- *Chọn kiểu phân tích*: Solution > Analysis Type > New Analysis > Xuất hiện bảng New Analysis > Chọn (•) Static > OK.

- *Chạy chương trình*: Từ Main Menu > Solution > Solve > Current LS > Xuất hiện bảng STATUS Command và bảng Solve current Load Step, thông báo tóm tắt các thông tin trước khi tính toán. Nhấn OK để bắt đầu tính toán đến khi xuất hiện thông báo Solution is done cho biết việc tính toán đã hoàn thành > Close.

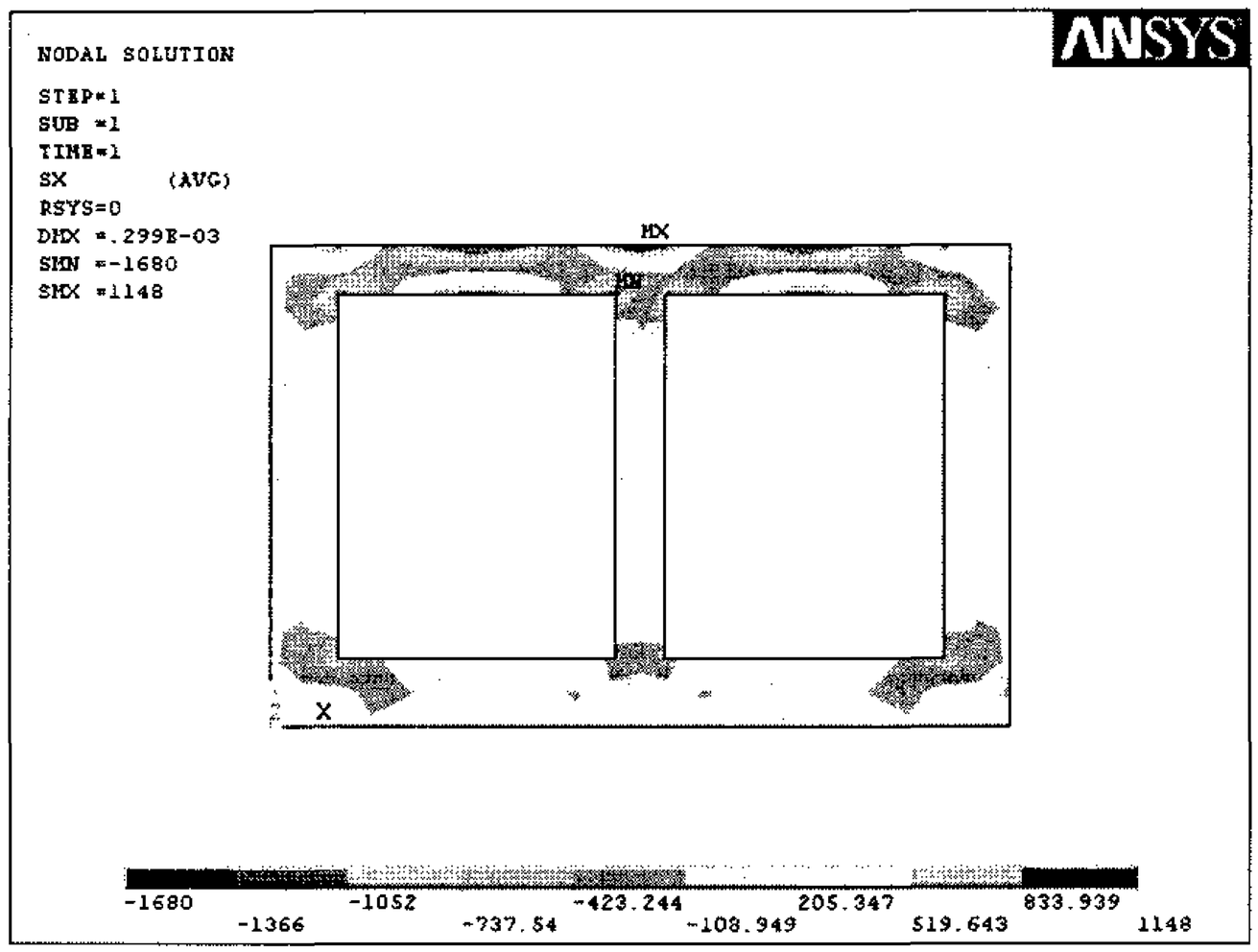
b) Khai thác kết quả tính toán

- *Hiển thị phổ chuyển vị của cổng theo phương đứng*: General Postproc > Contour Plot Results > Nodal Solution > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data > Nodal Solution > DOF Solution > Y-Component of Displacement > OK > Ta có phổ mầu chuyển vị theo phương Y như ở 4.55, chuyển vị đứng nhỏ nhất SMN = -0.000298m và chuyển vị toàn phần lớn nhất DMX = 0.000289m.



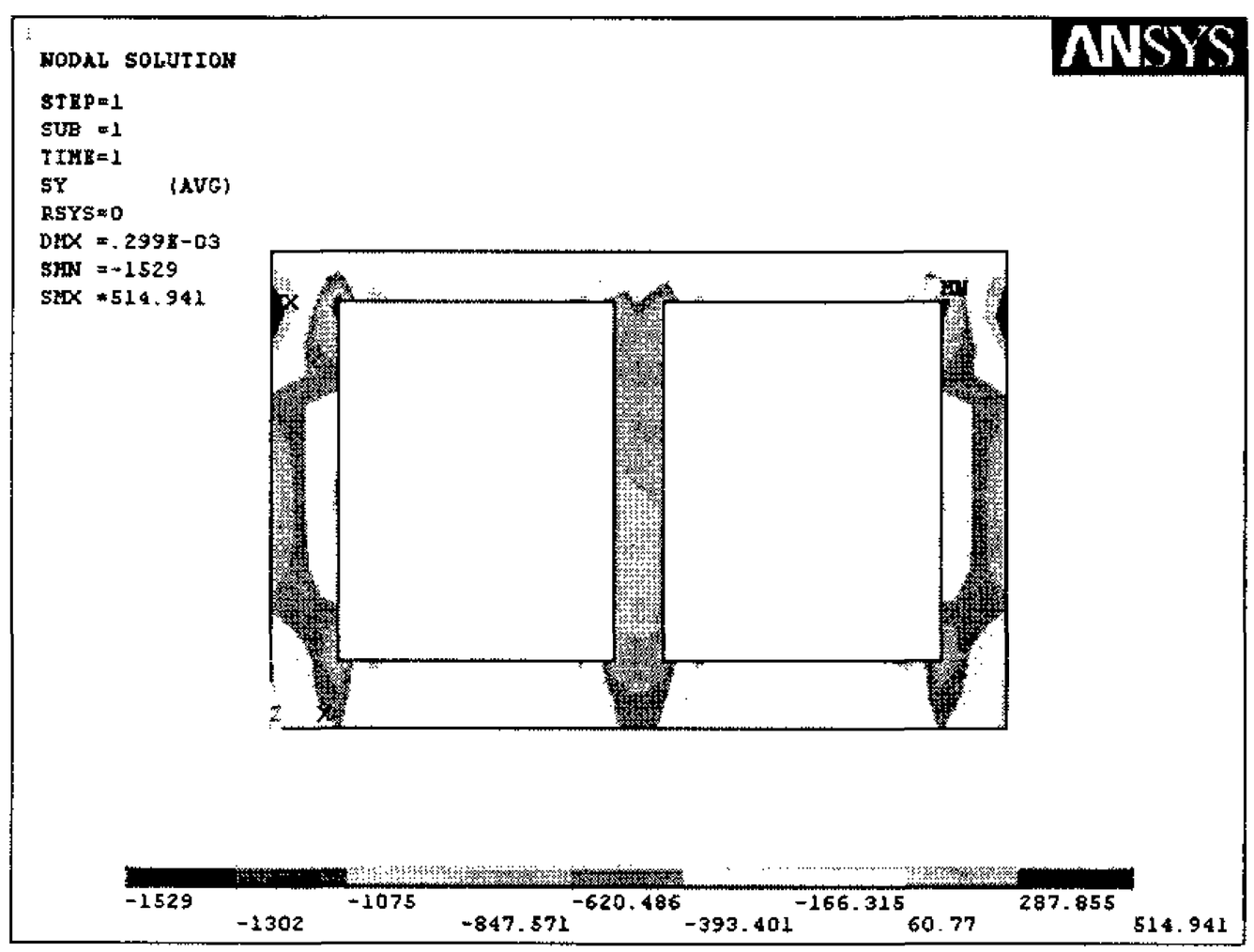
Hình 4.55. *Phổ mầu chuyển vị theo phương y của cổng*

- *Hiển thị phổ ứng suất của cổng theo phương ngang X*: General Postproc > Plot Result > Contour Plot > Nodal Solu > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data > Nodal Solution > Stress > X-Component of Stress > OK > Phổ mầu ứng suất theo phương X cho ở hình 4.56, ứng suất SX nhỏ nhất SMN = -1680kN/m^2, lớn nhất SMX = 1148kN/m^2.



Hình 4.56. *Phổ mầu ứng suất SX của cống*

- *Hiển thị phổ ứng suất của đập theo phương đứng Y*: General Postproc > Plot Result > Contour Plot > Nodal Solu > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data > Nodal Solution > Stress > Y-Component of Stress > OK > Phổ mầu ứng suất SY của cống cho ở hình 4.57.



Hình 4.57. *Phổ mầu ứng suất SY của cống*

- *Phản lực liên kết*: General Postprocessor > List Results > Reaction Solution > Xuất hiện bảng List Reaction Solution > Chọn All Items > OK > Xuất hiện bảng PRRSOL Command cho kết quả tính toán các thành phần phản lực tại nền cống như ở bảng 4.12.

Bảng 4.12. Phản lực liên kết

```
PRRSOL Command
File

PRINT REACTION SOLUTIONS PER NODE

 ***** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING *****

 LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
  TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0

 THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

   NODE      FX          FY

TOTAL VALUES
VALUE   0.32484E-10  1473.0
```

Từ bảng 4.12 cho biết tổng giá trị phản lực đứng ΣFY = 1473kN bằng tổng trọng lượng bản thân cống và áp lực nước đứng tác dụng lên nắp cống:

$$\Sigma FY = 108\times8.8\times1+24\times[8.8\times5.7-2\times3.3\times4.3]\times1=1473.1kN\cong1473kN$$

- *Chuyển vị tại các nút của cống*: General Postprocessor > List Results > Nodal Solution > Xuất hiện bảng List Nodal Solution > Nhấn DOF Solution > Displacement of Vector SUM > OK > Xuất hiện bảng kết quả tính toán giá trị chuyển vị tại các nút của cống cho ở bảng 4.13. Từ bảng này cho thấy chuyển vị tổng cộng lớn nhất ở đỉnh cống tại nút 421 có USUM = 0.00029937m.

Bảng 4.13. Chuyển vị tại một số nút của cống

```
PRNSOL Command
File

PRINT U    NODAL SOLUTION PER NODE

 ***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

 LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
  TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0

 THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL
COORDINATE SYSTEM

   NODE      UX          UY          UZ          USUM
      1    0.0000      0.0000      0.0000      0.0000

    420 -0.31714E-04-0.26220E-03  0.0000     0.26411E-03
    421 -0.23805E-04-0.29842E-03  0.0000     0.29937E-03
    422 -0.28755E-04-0.29698E-03  0.0000     0.29837E-03
    423 -0.27230E-04-0.29281E-03  0.0000     0.29407E-03

    619 -0.24537E-07-0.30991E-04  0.0000     0.30991E-04
    620  0.71802E-08-0.17708E-04  0.0000     0.17708E-04

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES
NODE        240         453          0          421
VALUE  -0.11021E-03-0.29844E-03  0.0000     0.29937E-03
```

- *Ứng suất tại các nút của cống*: General Postprocessor > List Results > Nodal Solution > Xuất hiện bảng List Nodal Solution > Nhấn Nodal Solution > Stress > OK > Xuất hiện bảng PRNSOL Command kết quả tính toán các thành phần ứng suất tại các nút của cống cho ở bảng 4.14.

Bảng 4.14. Ứng suất tại một số nút của cống

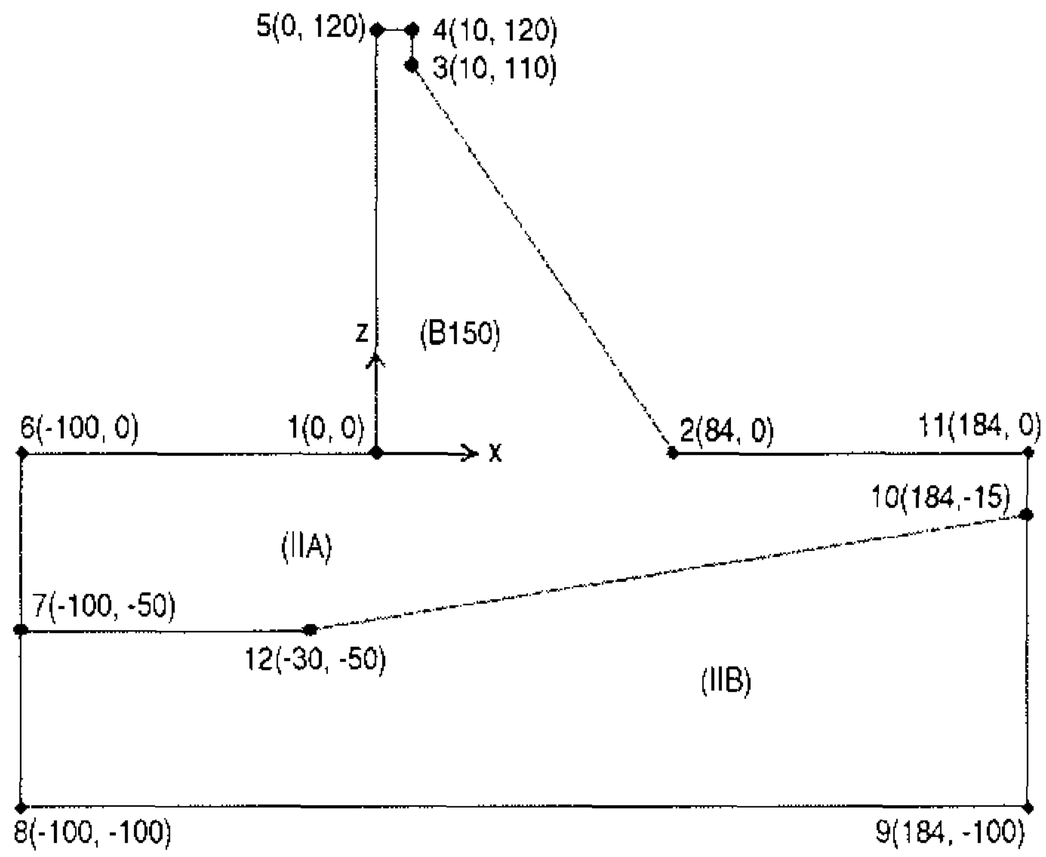
PRNSOL Command

File

```
PRINT S    NODAL SOLUTION PER NODE

 ***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****
 PowerGraphics Is Currently Enabled

 LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
  TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0
 NODAL RESULTS ARE FOR MATERIAL   1

 THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

   NODE    SX          SY          SZ          SXY         SYZ         SXZ

MINIMUM VALUES
NODE        150         230         190         190           1           1
VALUE   -1680.4     -1528.8     -600.39     -758.30      0.0000      0.0000

MAXIMUM VALUES
NODE         98         123          98         150           1           1
VALUE    1148.2      514.94      209.00      1100.2      0.0000      0.0000
```

• Ví dụ 4.4. Đập ngăn

Xác định trạng thái ứng suất và chuyển vị của đập bê tông trọng lực có kích thước và chịu áp lực nước đến cao trình đỉnh đập như ở hình 4.58. Vật liệu bê tông B150 có E_b=2.12×107kN/m^2, μ_b=0,2, γ_b=24kN/m^3, nền đá IIA có E_{2A} = 1.8×106kN/m^2, μ_{2A} = 0.17, IIB có E_{2B}=8.3 × 106kN/m^2, μ_{2B}=0.19, trọng lượng riêng của nước γ_n= 0kN/m^3.



Hình 4.58. Mặt cắt ngang đập trọng lực và nền

1. Phương thức GUI

a) Xây dựng mô hình và giải bài toán

- *Đặt tên File bài toán*: Khởi động phần mềm ANSYS, nhấn chuột vào biểu tượng > Xuất hiện bảng New Analysis > Nhập Vi du 4.4-Dap TL trong cửa sổ nhỏ ở Analysis Jobname > OK. Đặt tên bài toán chi tiết hơn để hiển thị trên màn hình, từ

menu File > Change Title > Xuất hiện bảng Change Title > Nhập Vi du 4.4-Dap be tong trong luc ở cửa sổ nhỏ của Title.

- *Giới hạn phạm vi hiển thị các chức năng*: Bài toán ở ví dụ 4.4 thuộc lĩnh vực kết cấu (Structural), để thực hiện giới hạn hiển thị này, nhấn chuột vào menu Preferences > Xuất hiện bảng Preferences for GUI Filtering > Nhấn chuột vào ☑ Structural > OK.

- *Chọn loại phần tử*: Trong bài toán này ta chọn phần tử phẳng Plane42 có 4 điểm nút, mỗi nút có 2 thành phần chuyển vị là Ux và Uy. Từ menu Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Xuất hiện cửa sổ Element Type > Nhấn Add > Xuất hiện bảng Library of Element Types > Chọn Solid ở cửa sổ trái và Quad 4nodes 42 ở cửa sổ phải > OK → Xuất hiện lại bảng Element Type và Plane42 đã được đưa vào danh sách > Nhấn Options > Xuất hiện bảng PLANE42 element type options > Chọn Plane strain trong Element Behavior K3 > OK > Hoàn thành định nghĩa phần tử Plane42.

- *Định nghĩa thuộc tính của vật liệu*: Chọn hệ đơn vị: kN, m. Từ Preprocessor > Material Props > Material Model > Xuất hiện bảng Define Material Model Behavior > Nhấn nút Structural > Linear > Elastic > Isotropic. Xuất hiện bảng Linear Isotropic Properties for Material > Vật liệu bê tông B150 nhập mô đun đàn hồi EX=2.12×107kN/m^2 và hệ số Poisson PRXY=0.2 > Nhấn Density > Xuất hiện bảng Density for Material Number 1 > Nhập DENS=2.449kNs^2/m^4 > Apply > Material > Nền IIA nhập EX=1.8×106kN/m^2 và PRXY=0.17 > Apply > Material > New Material > Nền IIB nhập EX=1.8×106kN/m^2 và PRXY=0.19 > OK > Để thoát khỏi chức năng này nhấn vào Material ở hàng trên cùng trong hình > Exit.

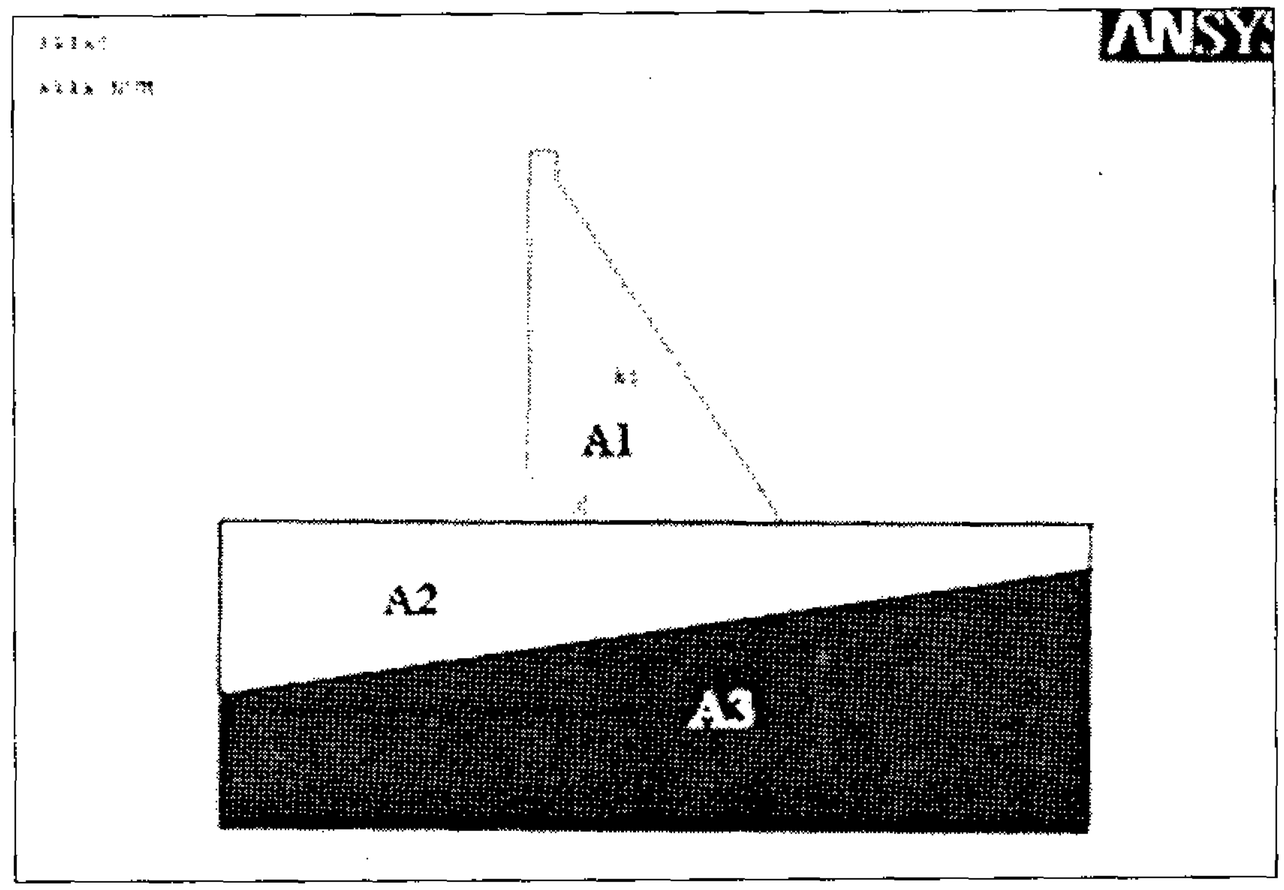
- *Tạo các điểm:* Để xây dựng mô hình hình học của đập ta tạo 9 điểm có tọa độ như sau 1(0,0,0), 2(84,0,0), 3(10,120,0), 4(10,120,0), 5(0,120,0), 6(-100,0,0), 7(-100,-50,0), 8(-100,-100,0), 9(184,-100), 10(184,-15,0) và 11(184,0,0) với hệ đơn vị chọn là kN, m.

Từ menu Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS > Xuất hiện bảng Create Keypoints in Active Coordinate System

Nhập điểm 1 với tọa độ X=0, Y=0, Z=0 > Apply
Nhập điểm 2 với tọa độ X=84, Y=0, Z=0 > Apply
Nhập điểm 3 với tọa độ X=10, Y=110, Z=0 > Apply
Nhập điểm 4 với tọa độ X=10, Y=120, Z=0 > Apply
Nhập điểm 5 với tọa độ X=0, Y=120, Z=0 > Apply
Nhập điểm 6 với tọa độ X=-100, Y=0, Z=0 > Apply
Nhập điểm 7 với tọa độ X=-100, Y=-50, Z=0 > Apply
Nhập điểm 8 với tọa độ X=-100, Y=-100, Z=0 > Apply
Nhập điểm 9 với tọa độ X=184, Y=-100, Z=0 > Apply
Nhập điểm 10 với tọa độ X=184, Y=-15, Z=0 > Apply
Nhập điểm 11 với tọa độ X=184, Y=0, Z=0 > Apply
Nhập điểm 12 với tọa độ X=-30, Y=-50, Z=0 > OK

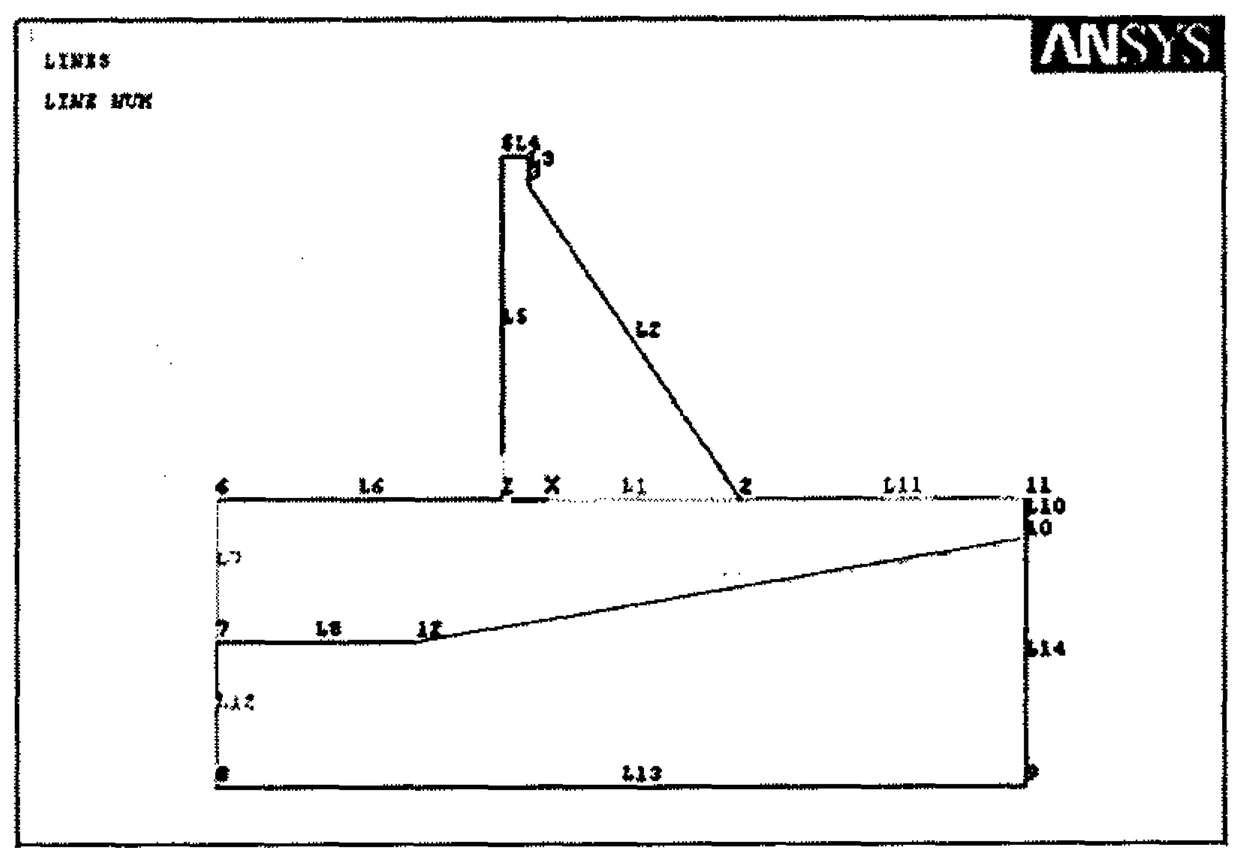
- *Xây dựng mô hình mặt đập và nền*: Từ Preprocessor > Modeling > Create > Areas > Arbitrary > Through Keypoints > Nhấn chuột lần lượt vào các nút (1, 2, 3, 4, 5) có diện tích đập A1 > Apply. Nhấn chuột lần lượt vào các nút (1, 6, 7,12, 10, 11, 2) có diện tích

nền A2 > Nhấn chuột lần lượt vào các nút (7, 8, 9, 10, 12) có diện tích nền A3 > OK, ta có mô hình mặt đập và nền như ở hình 4.59.



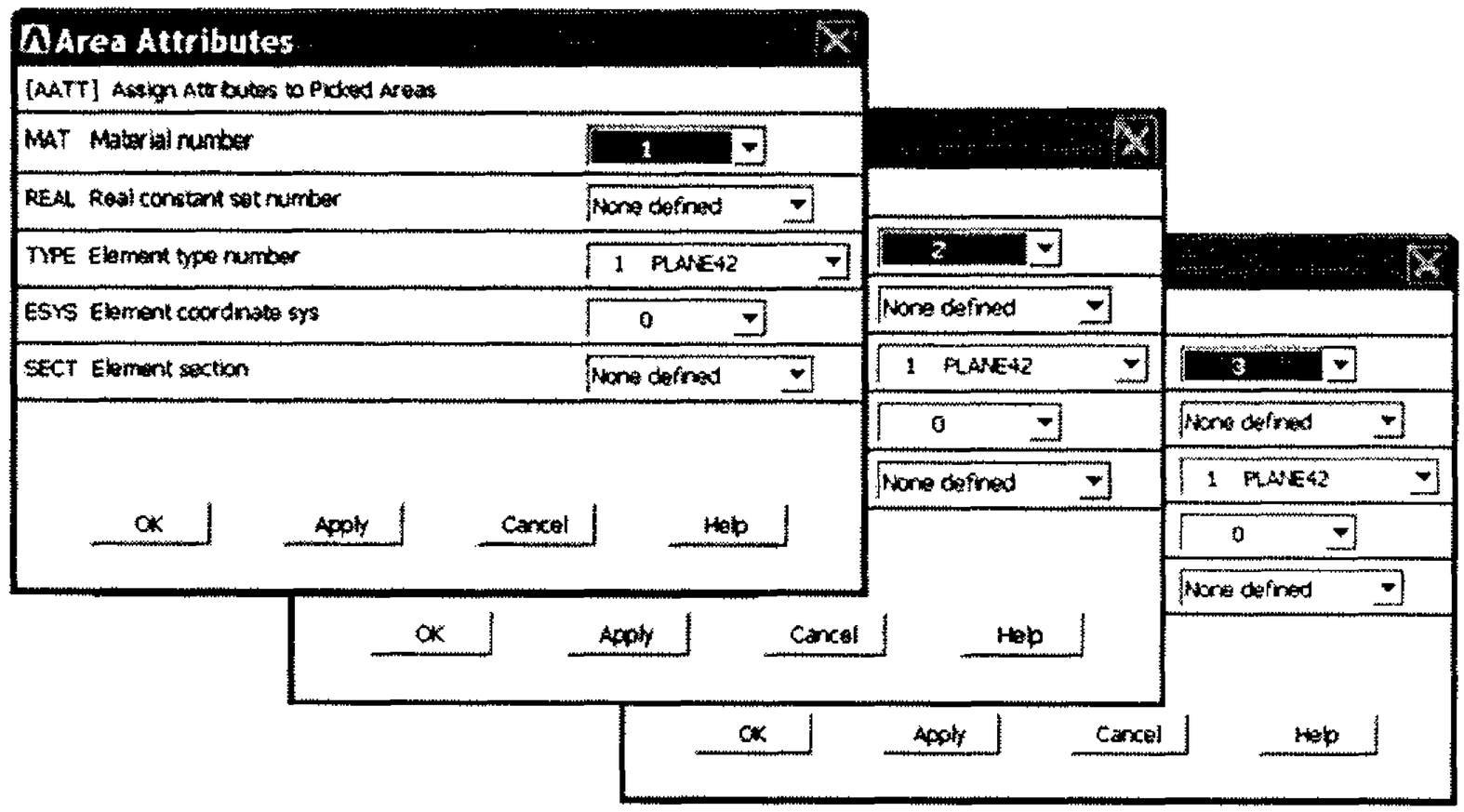
Hình 4.59. *Mô hình mặt cắt ngang đập và nền*

- *Hiển thị mã điểm và đường chu vi đập và nền*: Plot Lines > Plot Cntrls > Numbering > Plot Numbering Controls > Chọn KP ☑ On và LINE ☑ On > OK, ta có đường chu vi đập và nền như ở hình 4.60.



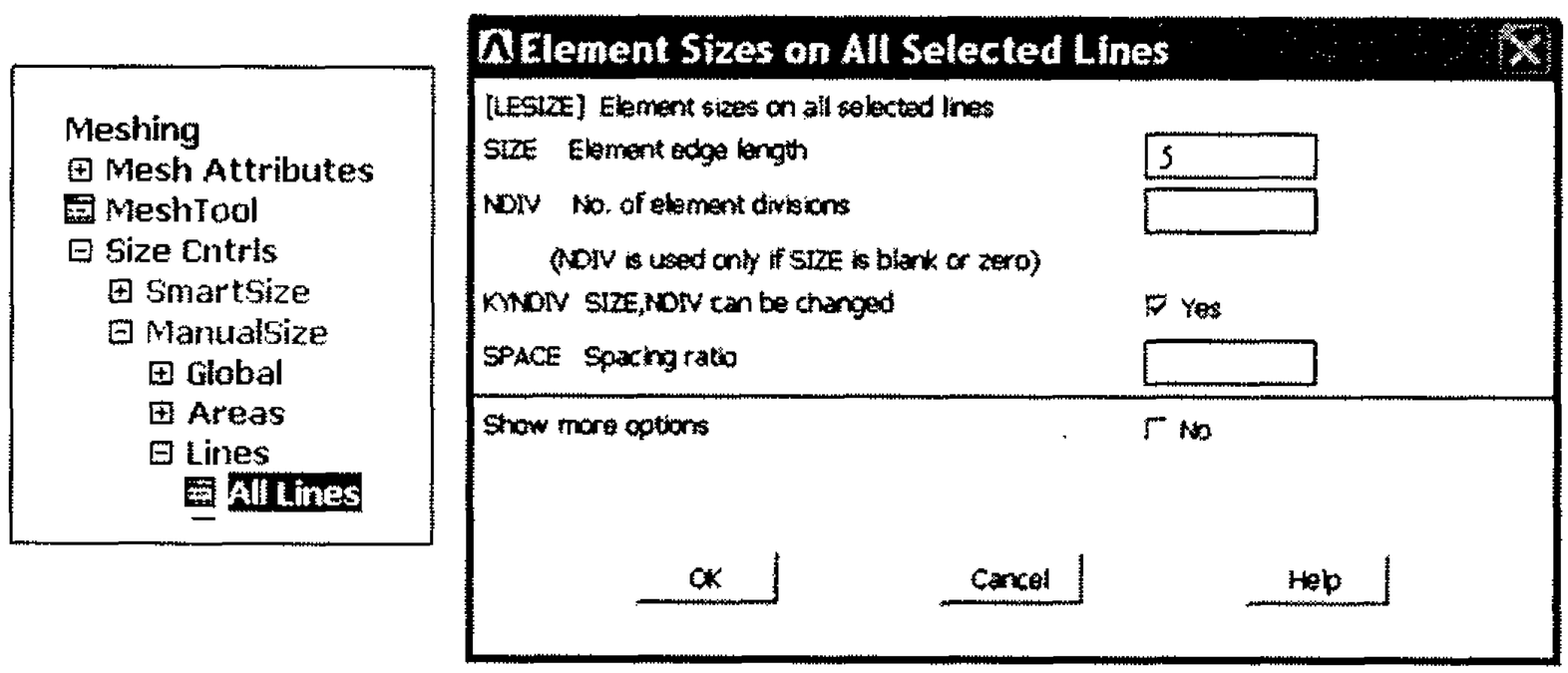
Hình 4.60. *Đường chu vi đập và nền*

- *Gán thuộc tính vật liệu vào đập và nền*: Preprocessor > Mesh > Mesh Attributes > Picked Areas > Xuất hiện bảng Area Attributes > Nhấn chuột vào diện tích A1 > Apply > Xuất hiện bảng Area Attributes như ở hình 4.61 > Chọn MAT:1 > Apply > Chọn A2 > Apply > Xuất hiện bảng Area Attributes > Chọn MAT:2 > Apply > Chọn A3 > Apply > Xuất hiện bảng Area Attributes > Chọn MAT: 3 > OK.



Hình 4.61. *Gán thuộc tính vật liệu vào các miền A1, A2, A3*

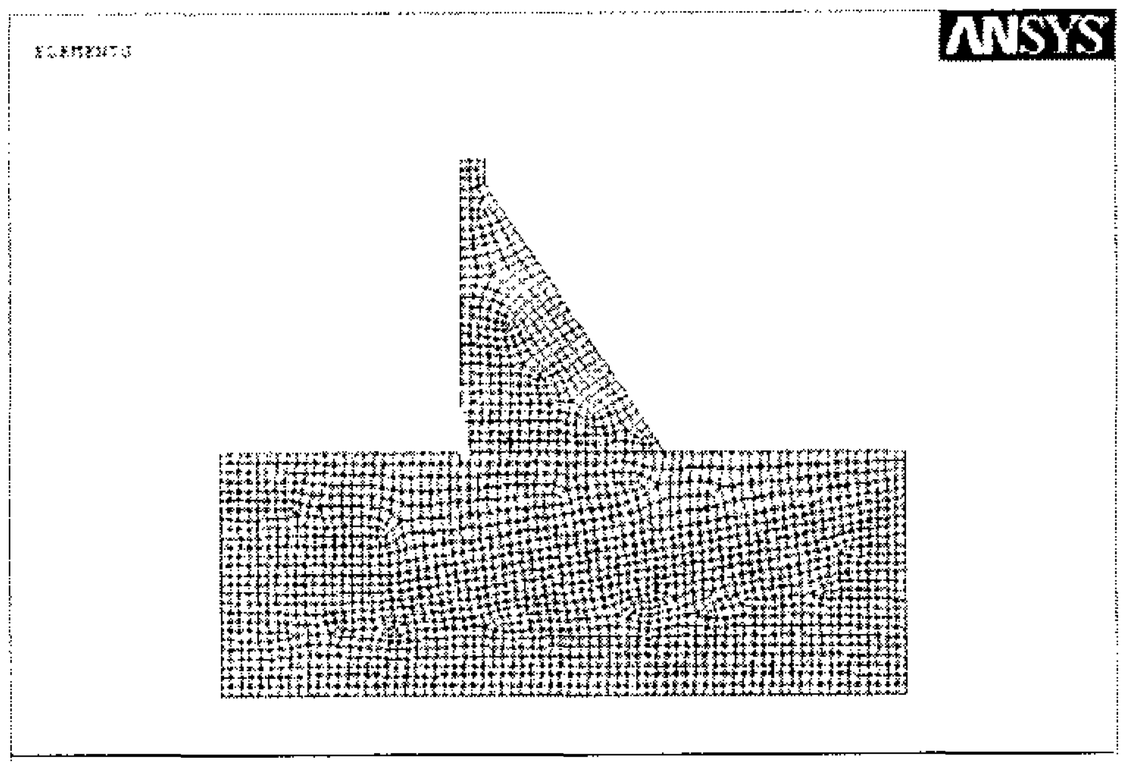
- *Chia lưới phần tử các đường:* Chia mạng lưới phần tử của mặt đập theo kích thước các đường lưới chu vi đập và nền, do đó trước hết cần chia lưới các đường. Từ Preprocessor > Meshing > Size Contrls > ManualSize > Lines > All Lines > Xuất hiện bảng Element Sizes on All Selected Lines như ở hình 4.62 > Nhập SIZE=5m > OK.



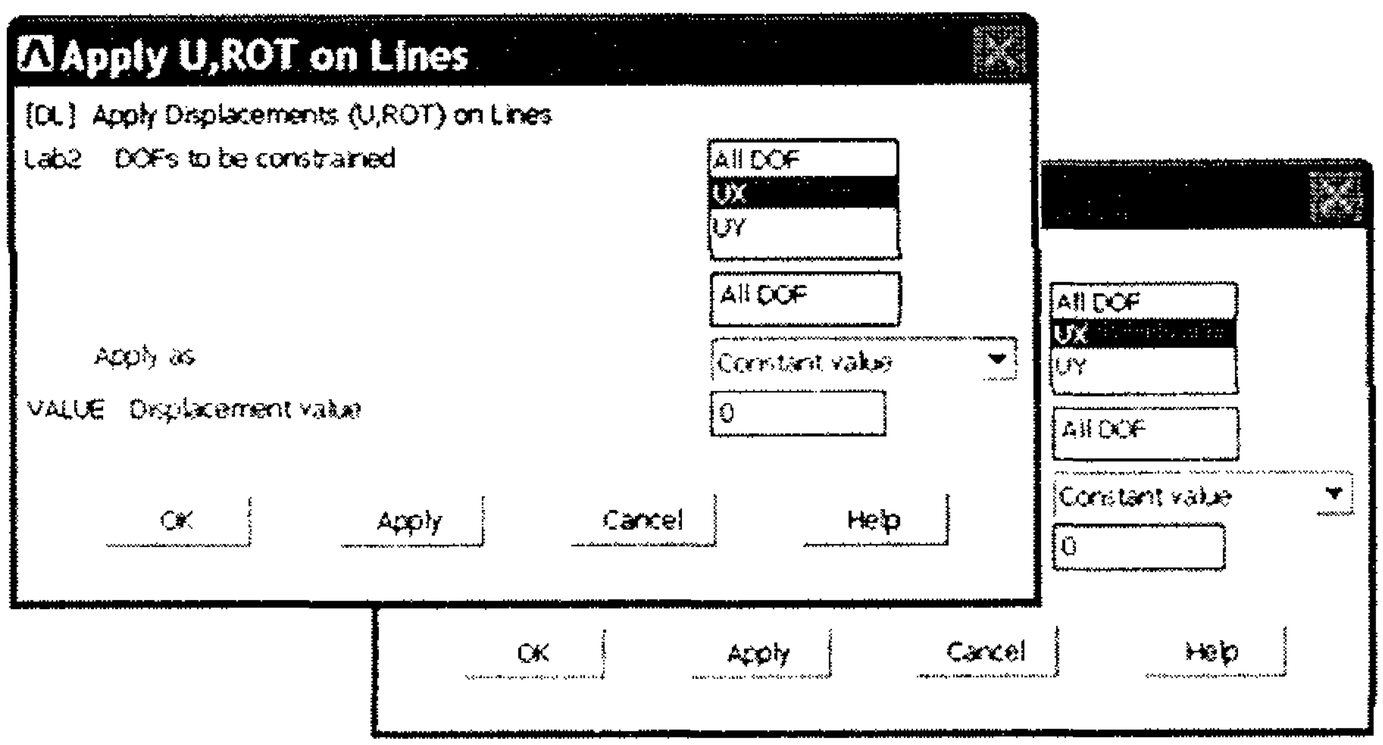
Hình 4.62. *Chọn và nhập chiều dài của cạnh phần tử*

- *Chia lưới phần tử đập và nền*: Preprocessor > Meshing > Mesh > Area > Free > Xuất hiện bảng Mesh Areas > Pick All, ta có mô hình phần tử hữu hạn đập và nền như ở hình 4.63.

- *Gán ràng buộc chuyển vị ở nền đập*: Từ Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Lines > Xuất hiện bảng Apply U, ROT on Lines > Chọn L13 (đường 8-9), xem hình 4.64 > Apply > Xuất hiện bảng Apply U, ROT on Lines > Chọn UY > VALUE = 0 > Apply > Chọn đường L7, L12, L10 và L14 (đường 6-7, 7-8, 9-10, 10-11) > OK > Xuất hiện bảng Apply U, ROT on Lines > Chọn UX > VALUE = 0.

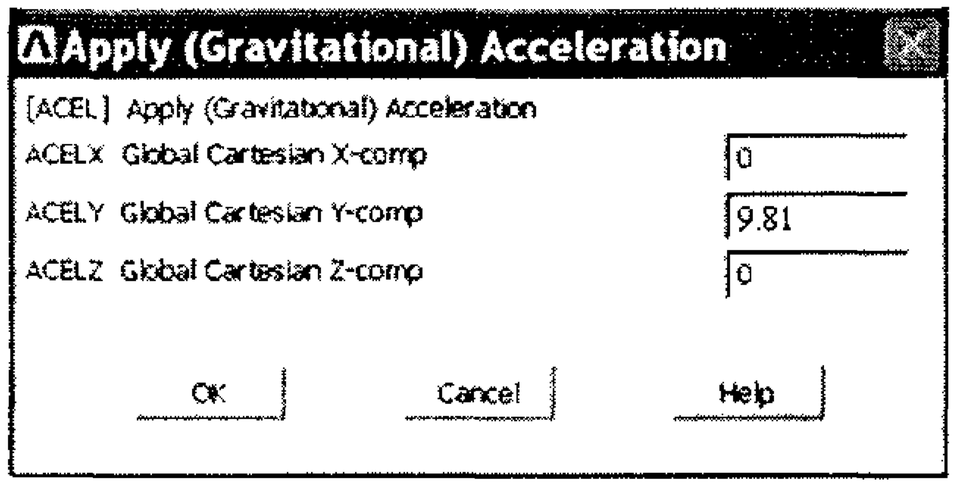


Hình 4.63. *Mạng lưới phần tử mô hình đập và nền*



Hình 4.64. *Gán liên kết vào nền*

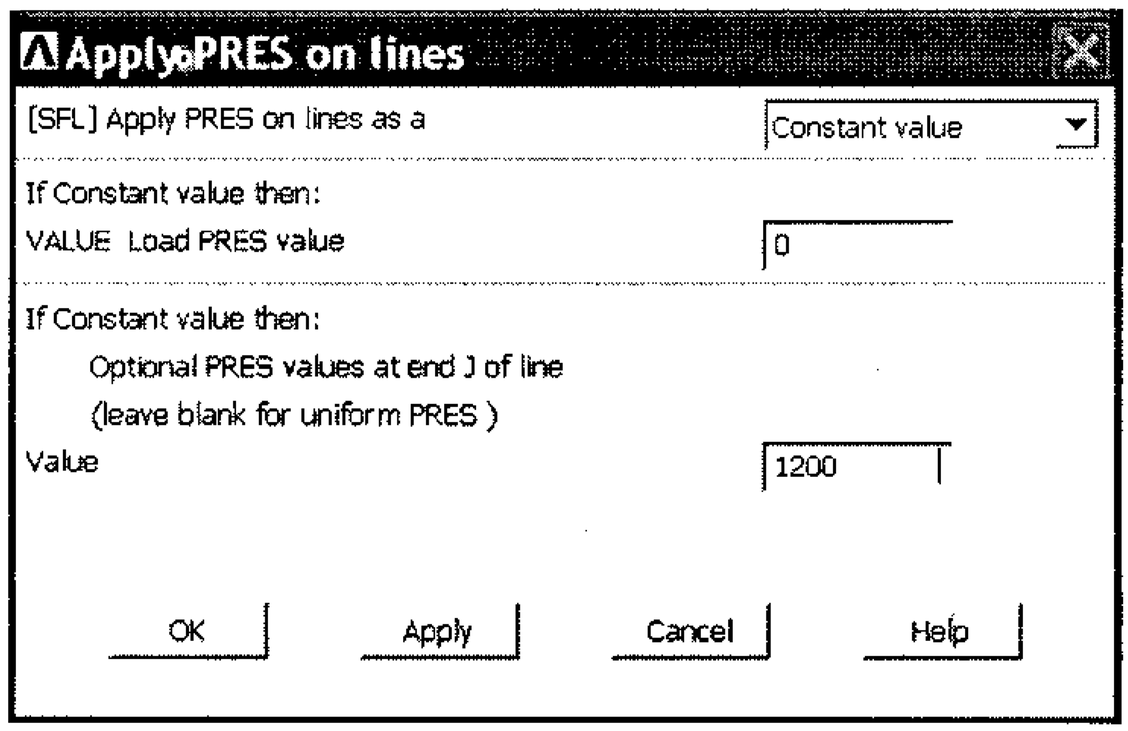
- *Gán gia tốc trọng trường*: Từ Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Inertia > Gravity > Global > Xuất hiện bảng [Apply (Gravitational) Acceleration] như ở hình 4.65, trong ACELY Global Acceleration-com nhập 9.81 > OK.



Hình 4.65. *Gán gia tốc trọng trường*

- *Gán áp lực nước*: Từ Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Lines > Global > Xuất hiện bảng Apply PRES on Lines > Xuất hiện bảng

chọn Lines > Dùng chuột chọn đường L5 (đường 5-1) > Apply > Xuất hiện bảng Apply PRES on Lines như ở hình 4.66 > Nhập 0 và 1200 trong cửa sổ khai báo > Apply > Gán áp lực nước vào mặt nền thượng lưu, chọn L6 (đường 1-6) > OK > Xuất hiện bảng Apply PRES on Lines > Nhập 1200 và 1200 (hoặc để trống) trong cửa sổ khai báo > OK.

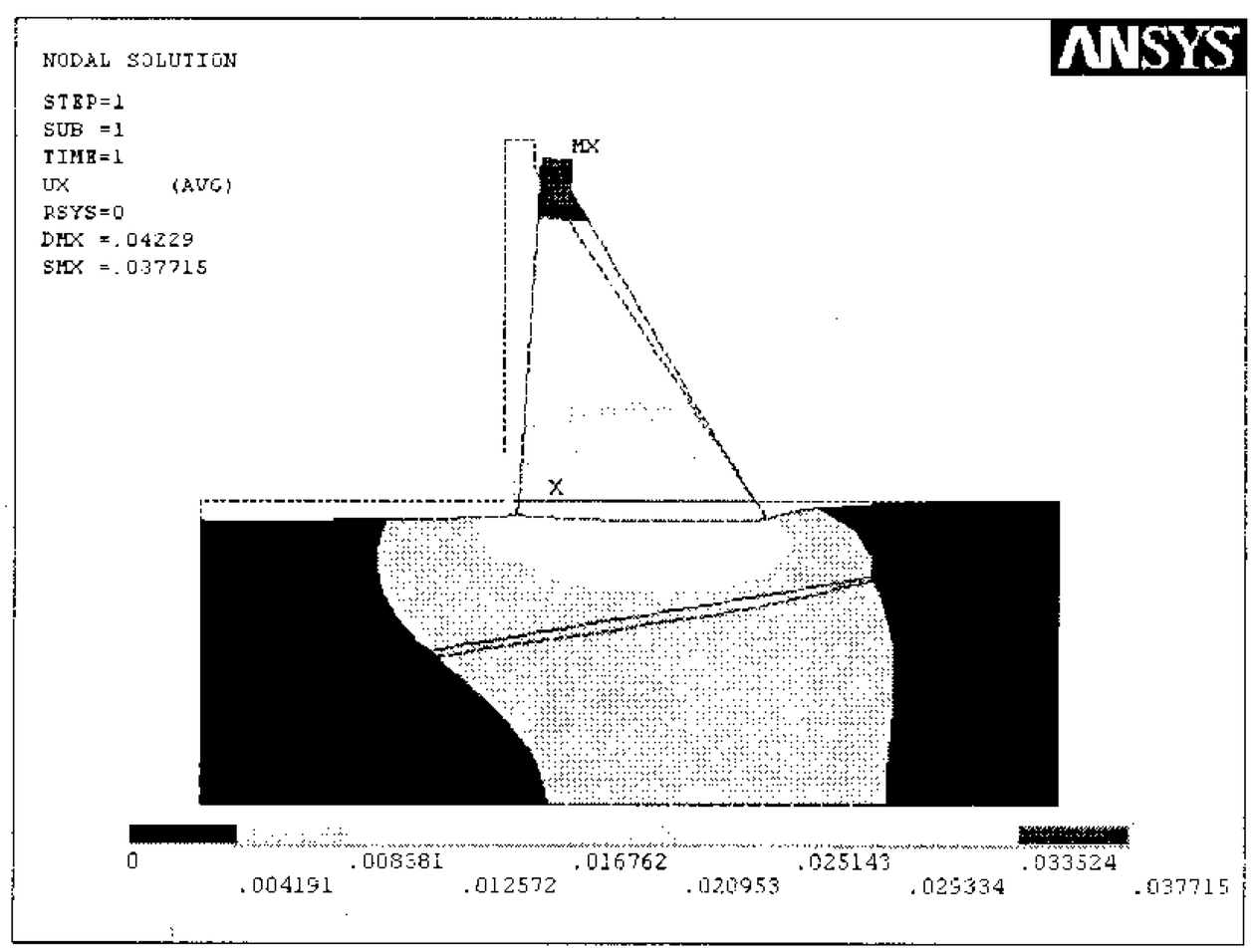


Hình 4.66. *Gán áp lực nước ở mặt thượng lưu đập*

- *Chọn kiểu phân tích*: Solution > Analysis Type > New Analysis > Xuất hiện bảng New Analysis > Chọn ⊙ Static > OK.

- *Chạy chương trình:* Từ Main Menu > Solution > Solve > Current LS > Xuất hiện bảng STATUS Command và bảng Solve current Load Step, thông báo tóm tắt các thông tin trước khi tính toán. Nhấn OK để bắt đầu tính toán đến khi xuất hiện thông báo Solution is done cho biết việc tính toán đã hoàn thành > Close.

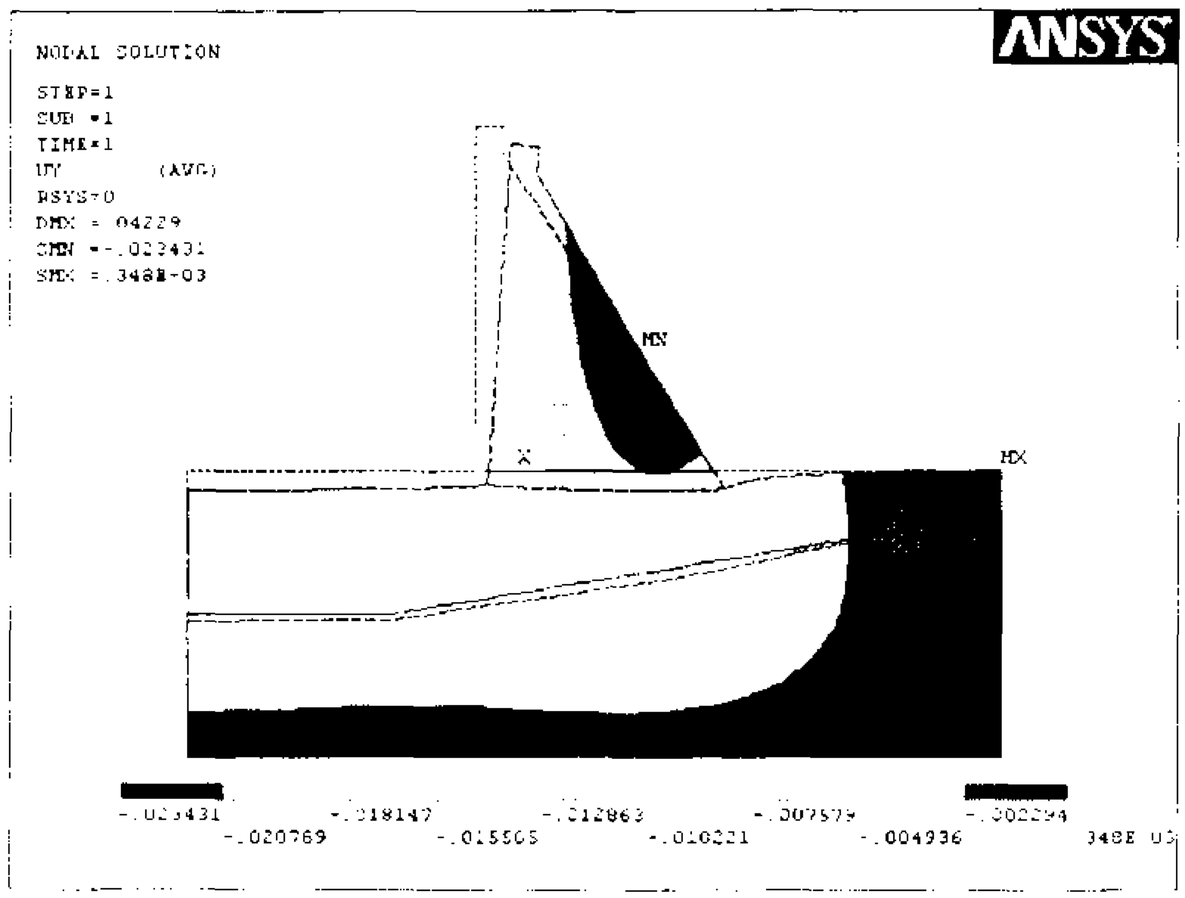
b) Khai thác kết quả tính toán



Hình 4.67. *Phổ mầu chuyển vị của đập và nền theo phương X*

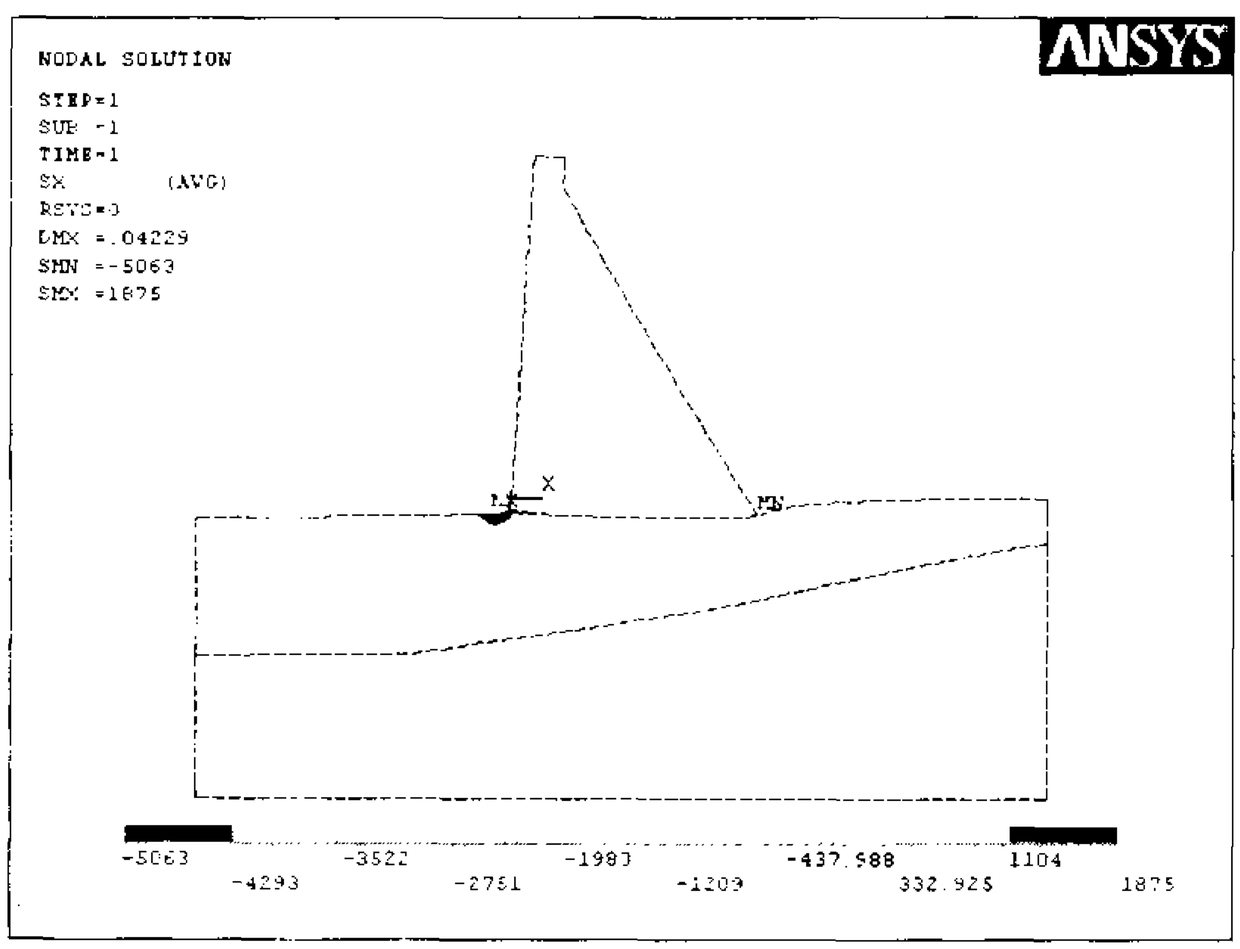
- *Hiển thị phổ mầu chuyển vị của đập và nền theo phương ngang*: General Postproc > Contour Plot Results > Nodal Solution > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data > Nodal Solution > DOF Solution > X-Component of Displacement > OK > Ta có phổ mầu chuyển vị theo phương X như ở hình 4.67. Chuyển vị ngang lớn nhất SMX = 0.037715m.

- *Hiển thị phổ chuyển vị của đập và nền theo phương đứng*: Nodal Solution > DOF Solution > Y-Component of Displacement > OK > Ta có phổ mầu chuyển vị theo phương Y như ở hình 4.68, chuyển vị đứng lớn nhất SMX = 0.000348m.



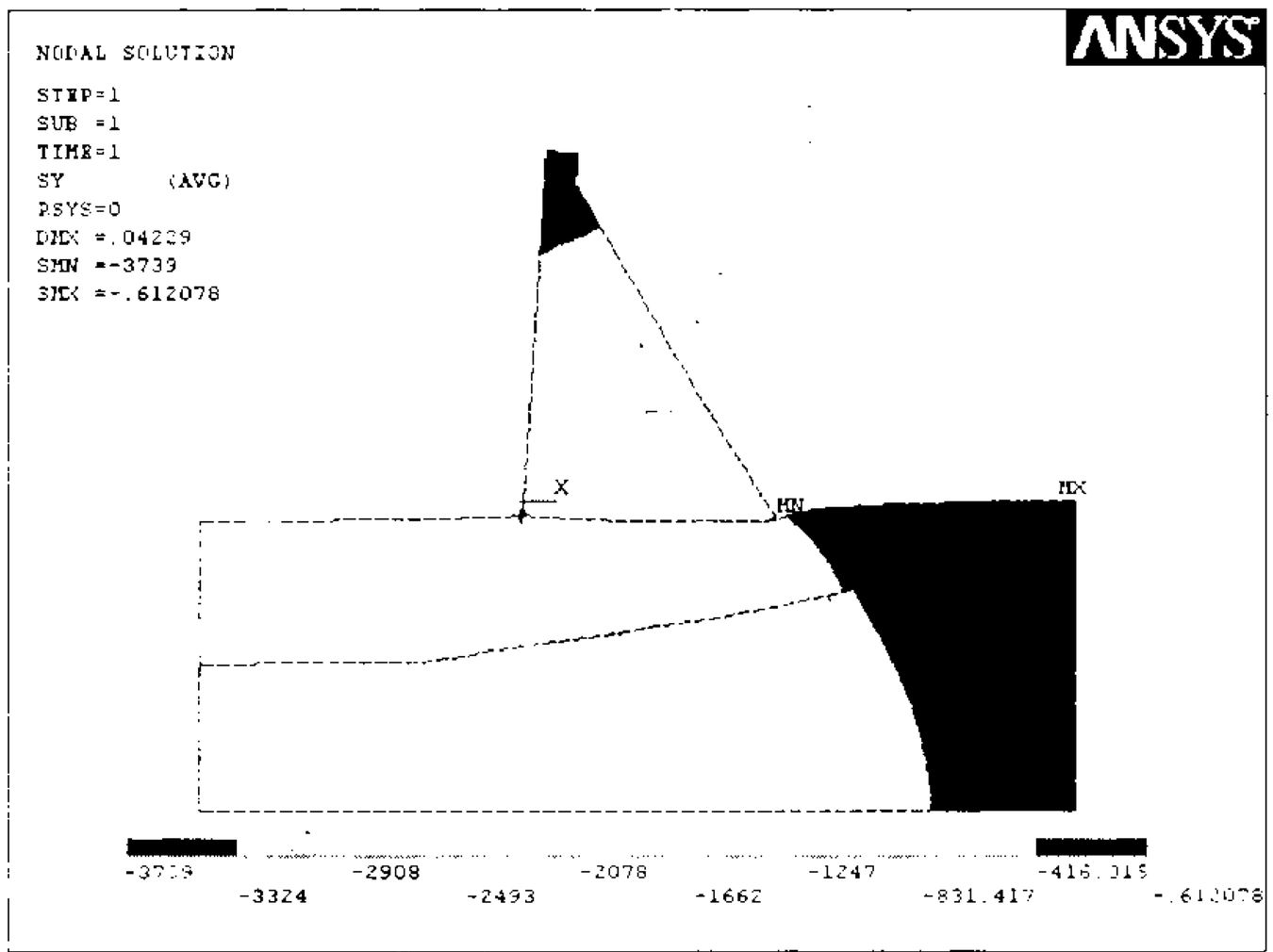
***Hình 4.68**. Phổ mầu biến dạng của đập theo phương Y*

- *Hiển thị phổ ứng suất của đập theo phương ngang X*: General Postproc > Plot Result > Contour Plot > Nodal Solu > Contour Nodal Solution Data > Nodal Solution > Stress > X-Component of Stress > OK > Ta có phổ mầu ứng suất theo phương X như ở hình 4.69.



***Hình 4.69.** Phổ mầu ứng suất SX của đập*

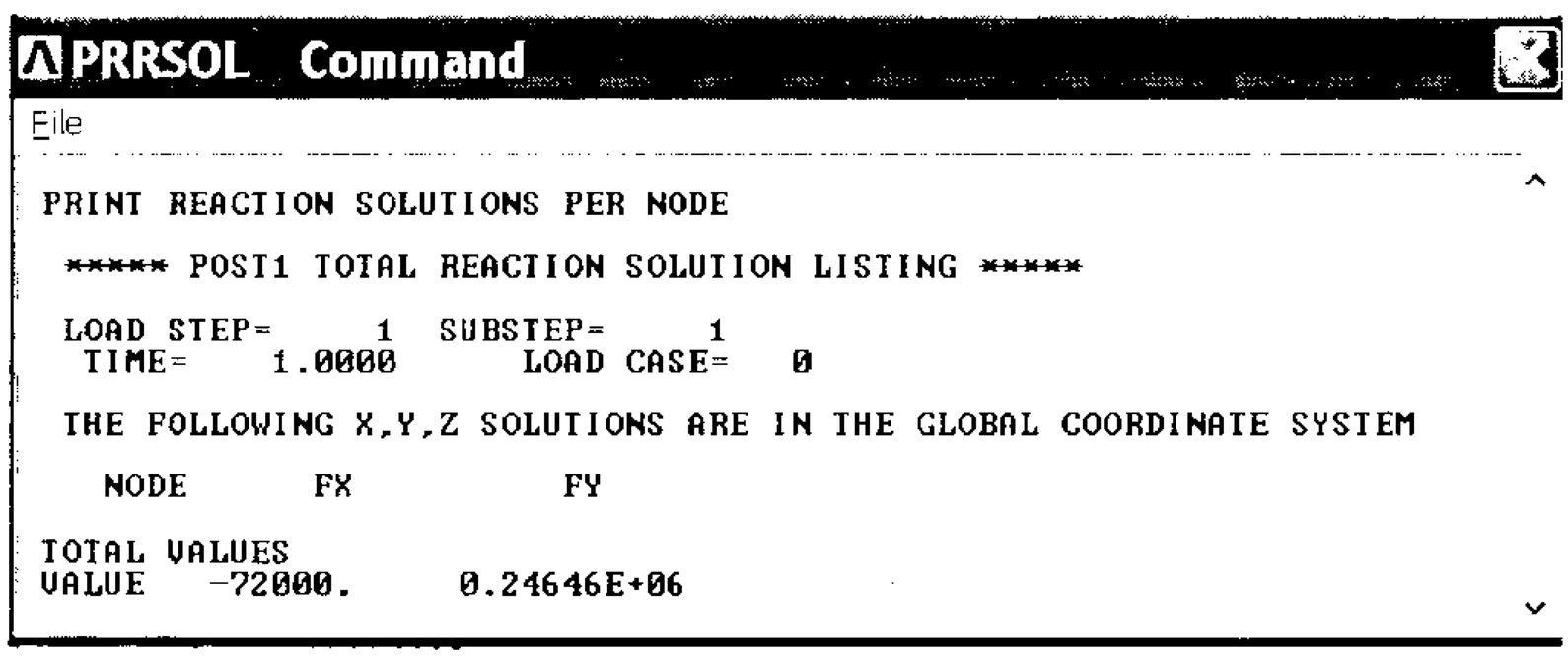
- *Hiển thị phổ ứng suất của đập theo phương đứng Y*: Nodal Solu > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data > Nodal Solution > Stress > Y-Component of Stress > OK > Ta có phổ mầu ứng suất theo phương Y như ở hình 4.70.



Hình 4.70. *Phổ mầu ứng suất SY của đập*

- *Phản lực liên kết*: General Postprocessor > List Results > Reaction Solution > Xuất hiện bảng List Reaction Solution > Chọn All Items > OK > Xuất hiện bảng PRRSOL Command cho kết quả tính toán các thành phần phản lực tại nền đập như ở bảng 4.15.

Bảng 4.15. Tổng phản lực liên kết



PRRSOL Command

File

```
PRINT REACTION SOLUTIONS PER NODE

 ***** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING *****

 LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
  TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0

 THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

   NODE      FX          FY

TOTAL VALUES
VALUE   -72000.     0.24646E+06
```

Từ bảng 4.15 cho biết tổng giá trị phản lực ngang $\sum FX$ = -72000kN bằng tổng giá trị áp lực nước ngang $0.5\gamma_n Hn2B = 0.5\times10\times1202\times1 = 72000$kN và tổng phản lực đứng $\sum FY$ = 246460kN bằng tổng trọng lượng bản thân đập và áp lực nước đứng tác dụng lên nền thượng lưu:

$$\sum FY=1200\times100\times1+24\times[10\times10+0.5\times(10+84)\times110]\times1=246480\text{kN}\cong246460\text{kN}$$

- *Chuyển vị tại các nút của đập*: General Postprocessor > List Results > Nodal Solution > Xuất hiện bảng List Nodal Solution > Nhấn DOF Solution > Chọn Displacement Vector USUM > OK > Xuất hiện bảng kết quả tính toán giá trị chuyển vị tại các nút của đập cho ở bảng 4.16. Từ bảng này cho thấy chuyển vị tổng cộng lớn nhất ở đỉnh đập tại nút 46 có USUM = 0.04229m.

Bảng 4.16. Chuyển vị lớn nhất của đập

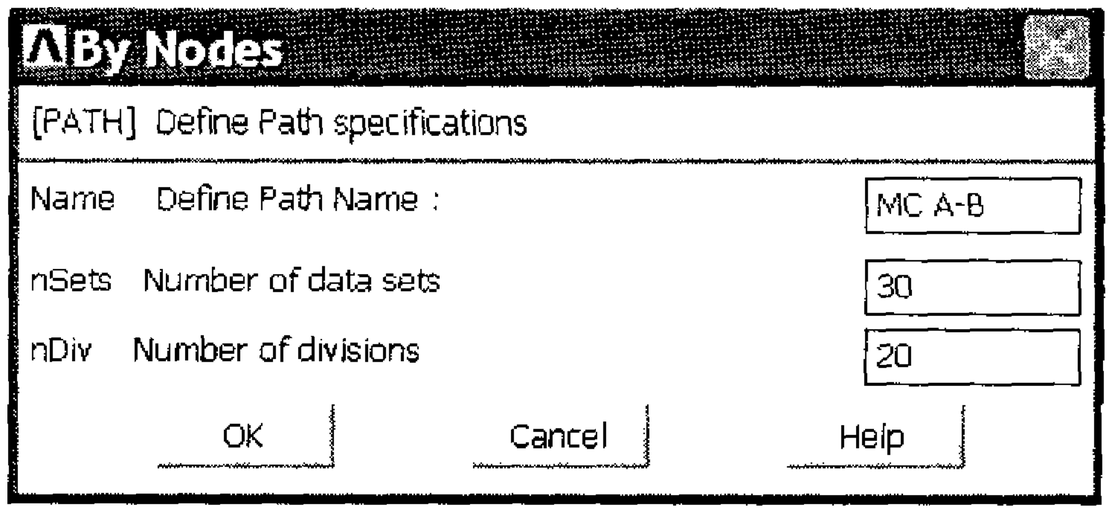
```
PRNSOL Command
File

PRINT U    NODAL SOLUTION PER NODE

  ***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

  LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
   TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0

  THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL
COORDINATE SYSTEM

    NODE      UX          UY          UZ          USUM

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES
NODE          46          31           0           46
VALUE   0.37715E-01-0.23431E-01  0.0000     0.42290E-01
```

- *Ứng suất tại các nút của đập*: General Postprocessor > List Results > Nodal Solution > Xuất hiện bảng List Nodal Solution. > Nhấn Nodal Solution > Stress > OK > Xuất hiện bảng PRNSOL Command kết quả tính toán các thành phần ứng suất tại các nút của đập cho ở bảng 4.17. Từ bảng này cho thấy ứng suất SX lớn nhất tại nút 972 có SX = 1874.8, ứng suất SY nhỏ nhất tại nút 2 có SY = -5063.5kN/m^2.

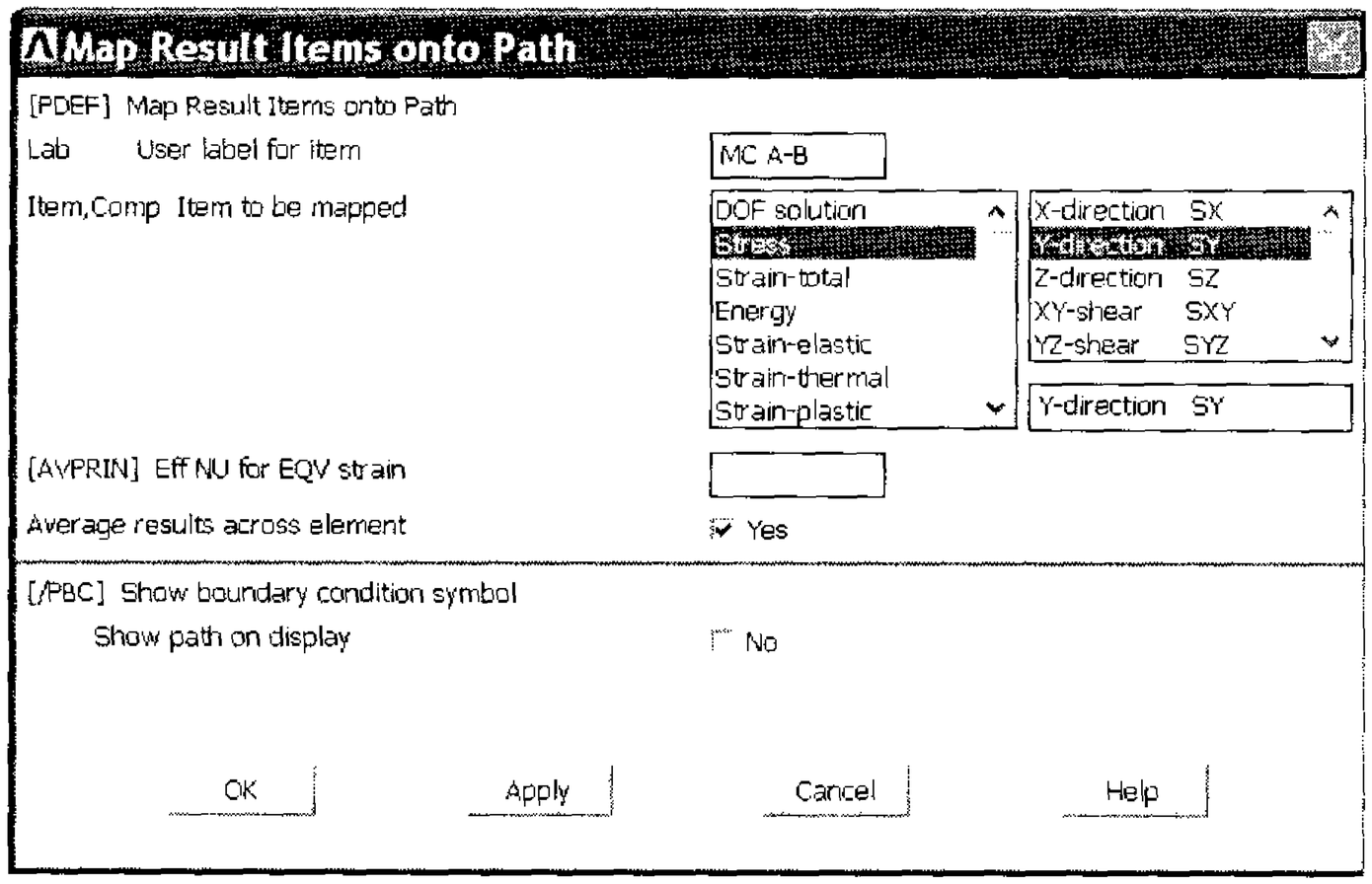
Bảng 4.17. Ứng suất SX, SY lớn nhất và nhỏ nhất

```
PRNSOL Command
File

PRINT S    NODAL SOLUTION PER NODE

  ***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****
  PowerGraphics Is Currently Enabled

  LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
   TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0
  NODAL RESULTS ARE FOR MATERIAL   1

  THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

    NODE     SX          SY          SZ          SXY         SYZ         SXZ

MINIMUM VALUES
NODE          2           2           1         318           1           1
VALUE    -5063.5     -3739.2      0.0000    -0.42551      0.0000      0.0000

MAXIMUM VALUES
NODE        972        1003           1           2           1           1
VALUE     1874.8    -0.61208      0.0000      3378.0      0.0000      0.0000
```

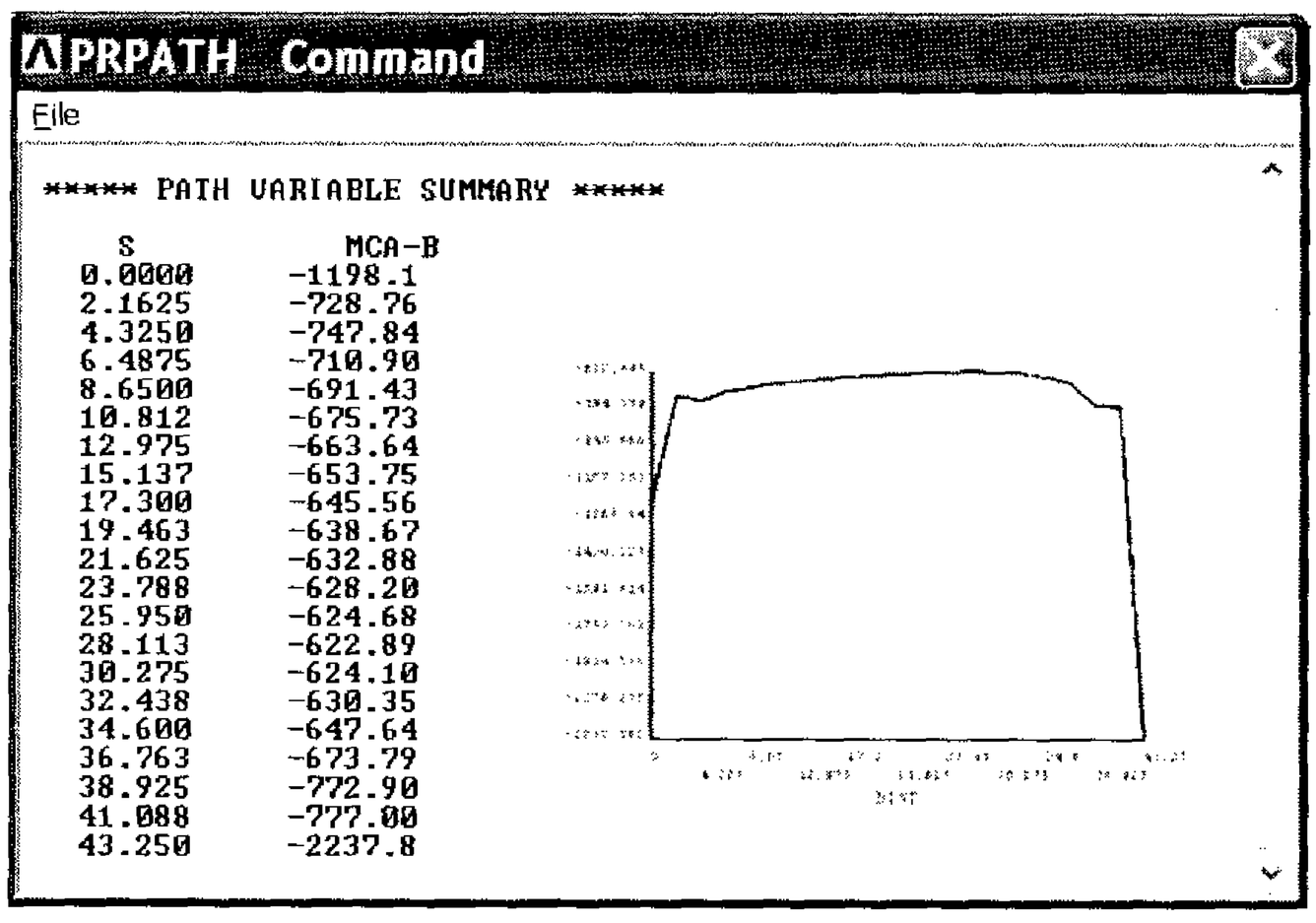
- *Ứng suất SY tại mặt tiếp giáp giữa đập và nền*: General Postprocessor > Path Operation > Define Path > By Nodes > Chọn nút đầu A và nút cuối B > OK > Xuất hiện bảng chia khoảng cách và thang lực như ở hình 4.71. Tiếp đến chọn Map onto Data > Plot Data Items, có đường biểu đồ ứng suất SY như ở hình 4.73.



Hình 4.71. Định nghĩa tên mặt cắt A-B



Hình 4.72. Đối tượng xuất SY



Hình 4.73. Biểu đồ ứng suất SY tại mặt cắt A-B

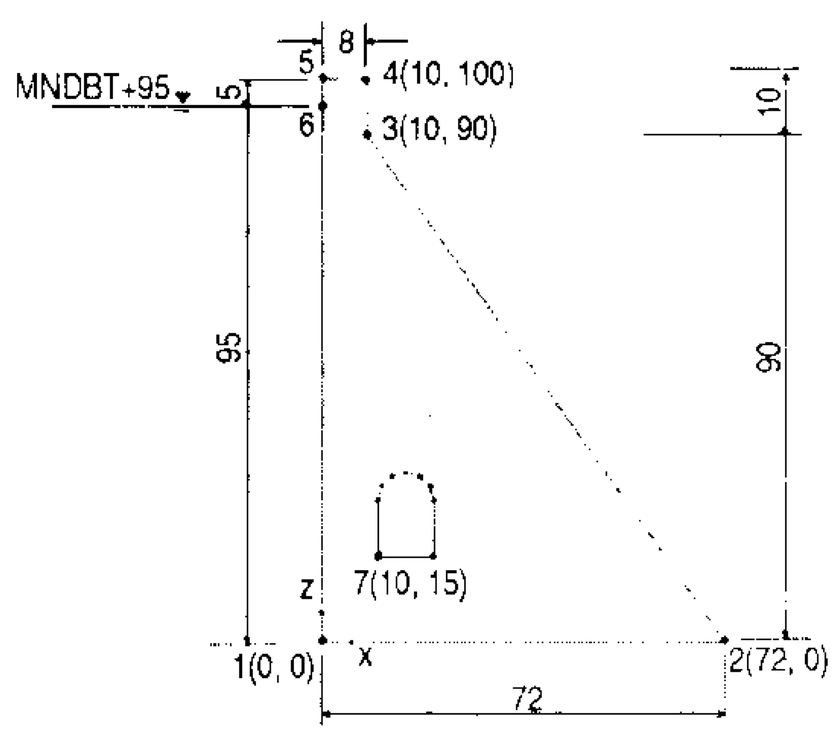
2. Phương thức COMMAND

```
/TITLE,Vidu 4.4-Dap trong luc
/PREP7
ET,1,PLANE42            !Chọn phần tử phẳng PLANE42
KEYOPT,1,3,2            !Bài toán biến dạng phẳng
MP,EX,1,2400            !Mô đun đàn hồi của vật liệu
MP,PRXY,1,0.2           !Hệ số Poisson
MP,DENS,1,2.446         !Khối lượng riêng
K,1,0,0,0
K,2,84,0,0
K,3,10,110,0
K,4,10,120,0
K,5,0,120,0
K,6,-100,0,0
K,7,-100,-50,0
K,8,-100,-100,0
K,9,184,-100,0
K,10,184,-20,0
K,11,184,0
K,12,-30,-50
L,1,2
L,2,3
L,3,4
L,4,5
L,5,1
L,1,6
L,2,3
L,3,4
L,4,5
L,5,1
/PNUM,KP,ON             !Hiển thị mã các điểm đặc trưng
A,1,2,3,4,5             !Mặt được tạo từ các điểm 1, 2, 3, 4, 5
LSEL,S,,,1              !Chọn đường thẳng L1
LESIZE,ALL,,,20         !Phân chia đường L1 thành 20 đoạn
LSEL,S,,,2              !Chọn đường thẳng L2
LESIZE,ALL,,,32         !Phân chia đường L2 thành 32 đoạn
LSEL,S,,,3              !Chọn đường thẳng L3
LESIZE,ALL,,,6          !Phân chia đường L3 thành 6 đoạn
LSEL,S,,,4              !Chọn đường thẳng L4
LESIZE,ALL,,,5          !Phân chia đường L4 thành 4 đoạn
LSEL,S,,,5              !Chọn đường thẳng L5
LESIZE,ALL,,,40         !Phân chia đường L5 thành 40 đoạn
AMESH,ALL               !Chia lưới phần tử của đập
```

```
SAVE,Dap_grid.db          !Lưu mô hình lưới
NSEL,S,LOC,Y,0            !Lựa chọn các điểm trên dường Y=0
D,ALL                     !Chọn ràng buộc chuyển vị
ALLSEL,ALL
ACEL,,9.81                !Gán gia tốc trọng trường
SFL,5,PRES,0,1200         !Gán áp lực nước
/SOLU
ANTYPE,STATIC             !Phân tích tĩnh tải
NSUBST,100                !Định nghĩa số bước con lớn nhất là 100
LNSRCH,ON                 !Mở tìm kiếm tuyến tĩnh
ALLSEL
SOLVE                     !Tiến hành giải
SAVE,Dap_static,db        !Lưu kết quả tính toán
FINISH
/POST1
RESUME,'Dap_static.db'!Đọc kết quả tính toán phân tích tĩnh
PLDISP,1                  !Vẽ biến dạng đập
PLNSOL,U,X                !Vẽ phổ chuyển vị đập theo phương X
PLNSOL,U,Y                !Vẽ phổ chuyển vị đập theo phương Y
PLNSOL,S,X                !Vẽ phổ ứng suất đập theo phương X
PLNSOL,S,Y                !Vẽ phổ ứng suất đập theo phương Y
PLNSOL,S,1                !Vẽ phổ ứng suất chính đập theo phương 1
FINISH
```

• Ví dụ 4.5. Đập ngăn có hành lang

Xác định trạng thái ứng suất và chuyển vị của đập trọng lực theo bài toán phẳng có chiều dày 1m. Đập có kích thước mặt cắt ngang như ở hình 4.74, hành lang đập có kích thước B×H×R = (8×9×4)m và chịu áp lực nước với MNDBT cách đỉnh đập 5m. Vật liệu bê tông M200 có $E_b = 2.4\times10^7 kN/m^2$, $\mu_b = 0.2$, $\gamma_b = 24kN/m^3$, trong lượng riêng của nước $\gamma_n = 10kN/m^3$.



Hình 4.74. Mặt cắt ngang đập trọng lực

i. Phương thức GUI

a) Xây dựng mô hình tính toán tính toán

- *Đặt tên File bài toán*: Khởi động phần mềm ANSYS, nhấn chuột vào biểu tượng > Xuất hiện bảng New Analysis > Nhập Vidu 4.5 - Dap TL trong cửa sổ nhỏ của Analysis Jobname > Nhấn OK. Đặt tên bài toán từ menu File > Change Title > Xuất hiện bảng Change Title > Nhập Vi du 4.5-Dap be tong trong luc vào cửa sổ nhỏ của Title.

- *Giới hạn phạm vi hiển thị các chức năng*: Bài toán ở ví dụ 4.5 thuộc lĩnh vực kết cấu (Structural), để thực hiện giới hạn hiển thị này, nhấn chuột vào menu Preferences > Xuất hiện bảng Preferences for GUI Filtering > Nhấn chuột vào ☑ Structural > OK.

- *Chọn loại phần tử*: Trong bài toán này ta chọn phần tử phẳng Plane183 có 8 điểm nút, mỗi nút có 2 thành phần chuyển vị là Ux và Uy. Từ menu Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Xuất hiện Element Type > Nhấn Add > Xuất hiện bảng Library of Element Types > Chọn Solid ở cửa sổ trái và 8nodes 183 ở cửa sổ phải > OK → Xuất hiện lại bảng Element Type và Plane183 đã được đưa vào danh sách > Nhấn Options > Xuất hiện bảng PLANE183 element type options > Chọn Plane strain trong Element Behavior K3 > OK > Hoàn thành định nghĩa phần tử ứng suất phẳng Plane183.

- *Định nghĩa thuộc tính của vật liệu*: Chọn hệ đơn vị: kN, m, Preprocessor > Material Props > Material Model > Xuất hiện bảng Define Material Model Behavior > Nhấn Structural > Linear > Elastic > Isotropic > Xuất hiện bảng Linear Isotropic Properties for Material > Nhập mô đun đàn hồi EX=2.4×107kN/m^2 và hệ số Poisson PRXY=0.2 > Nhấn Density > Nhập DENS=2.446 (24/9.81=2.446) > OK > Để thoát khỏi chức năng này > Nhấn vào Material ở hàng trên cùng của hình > Exit.

- *Tạo các điểm (Keypoints)* - Để xây dựng mô hình hình học của đập ta tạo 6 điểm có tọa độ như sau 1(0,0,0), 2(72,0,0), 3(8,90,0), 4(8,100,0), 5(0,100,0) và 6(0,95,0).

Từ menu Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS > Xuất hiện bảng Create Keypoints in Active Coordinate System:

Nhập điểm 1 với tọa độ X=0, Y=0, Z=0 > Apply

Nhập điểm 2 với tọa độ X=72, Y=0, Z=0 > Apply

Nhập điểm 3 với tọa độ X=8, Y=90, Z=0 > Apply

Nhập điểm 4 với tọa độ X=8, Y=100, Z=0 > Apply

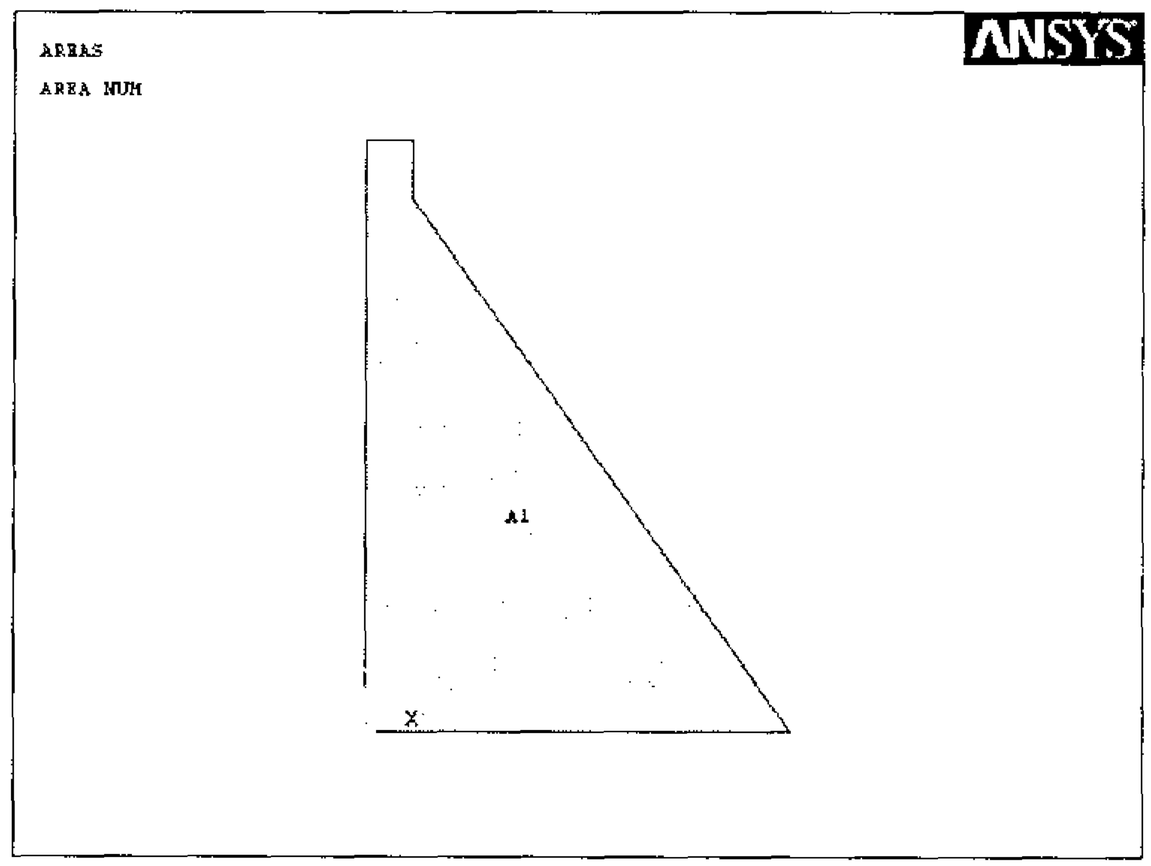
Nhập điểm 5 với tọa độ X=0, Y=100, Z=0 > Apply

Nhập điểm 6 với tọa độ X=0, Y=95, Z=0 > OK

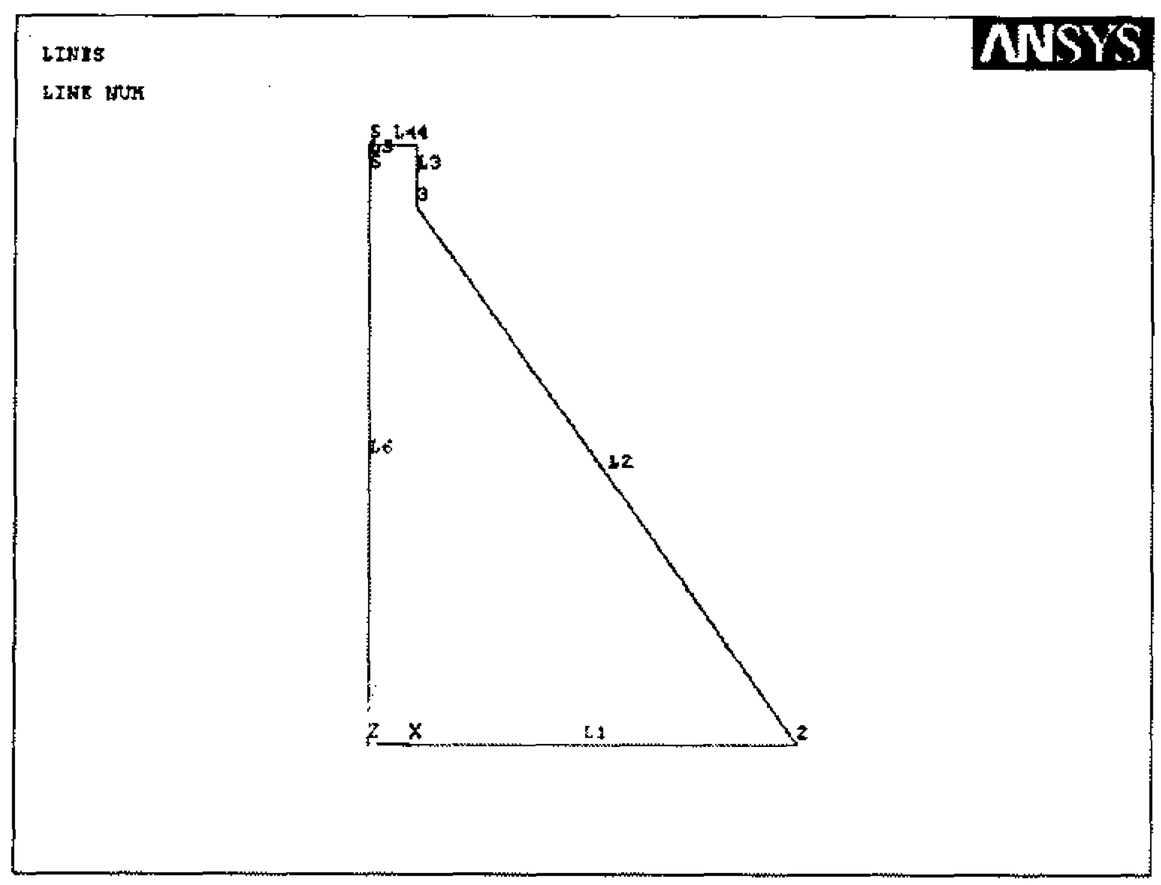
- *Tạo mặt đập theo đường chu vi đập*: Từ Preprocessor > Modeling > Create > Areas > Arbitrary > Through KPs > Xuất hiện bảng Create Area through KPs > Nhấn chuột lần lượt vào các điểm 1, 2, 3, 4, 5, 6 > OK hoặc nhập 1, 2, 3, 4, 5, 6 vào cửa sổ nhập lệnh ở bảng Create Area through KPs > OK, ta có diện tích A1 như ở hình 4.75 và đường chu vi của đập có mã là L1, L2, L3, L4, L5, L6 của đập. Để hiển thị mã của diện tích A1 ta thực hiện như sau: Từ menu Plot > Areas > PlotCtrls > Numbering > ☑ On ở dòng AREA Area Number > OK > Ta có diện tích và mã diện tích A1 như ở hình 4.75. Để hiển thị đường chu vi đập và mã của nó ta thực hiện như sau: Từ menu Plot > Lines

> PlotCtrls > Numbering > ☑ On ở dòng LINE Line Number > OK > Ta có đường chu vi đập và mã của chúng như ở hình 4.76.

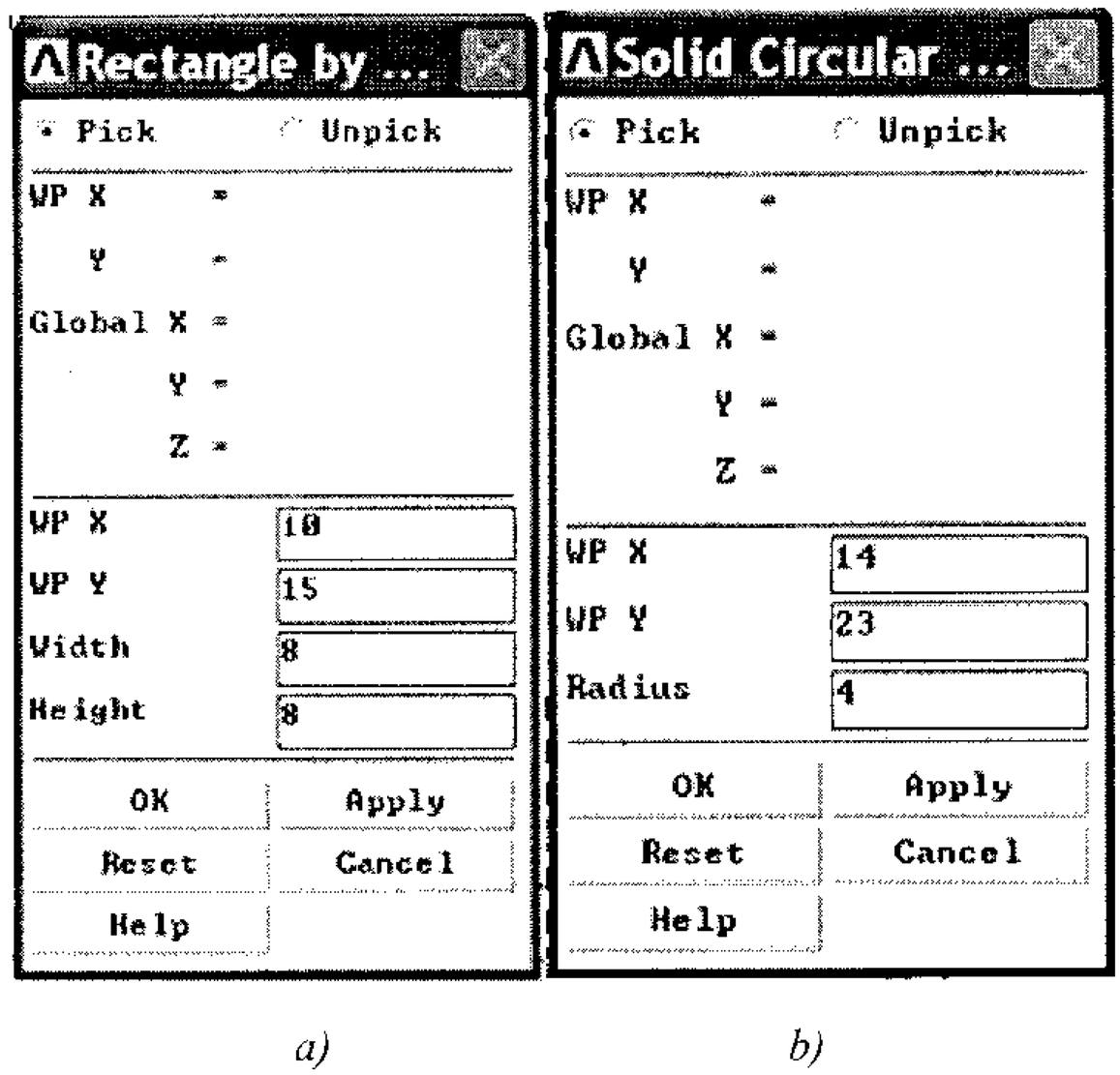
- *Hành lang đập*: Để tạo hành lang đập trước hết ta gán vào mô hình tiết diện phần dưới hành lang là hình chữ nhật có kích thước B×H=(8×9)m, điểm góc dưới hình này có tọa độ 7(10,15,0), từ Preprocessor > Modeling > Create > Areas > Rectangular > Xuất hiện bảng Rectangle by 2 Corners như ở hình 4.77a > Nhập tọa độ điểm 7(10,15,0), bề rộng và chiều cao tiết diện chữ nhật B=8, H=9 > OK, ta có tiết diện chữ nhật như ở hình 4.78 > Tiếp đến ta gán tiết diện tròn có tâm là điểm 8(14,24,0), có bàn kính R=4m, từ Preprocessor > Modeling > Create > Areas > Solid Circles > Xuất hiện bảng Solid Circular như ở hình 4.77b > Nhập tọa độ điểm 8 và bán kính hình tròn > OK, ta có diện tích hình tròn được gán vào mặt cắt đập như ở hình 4.78.



Hình 4.75. *Diện tích A1 mặt đập*

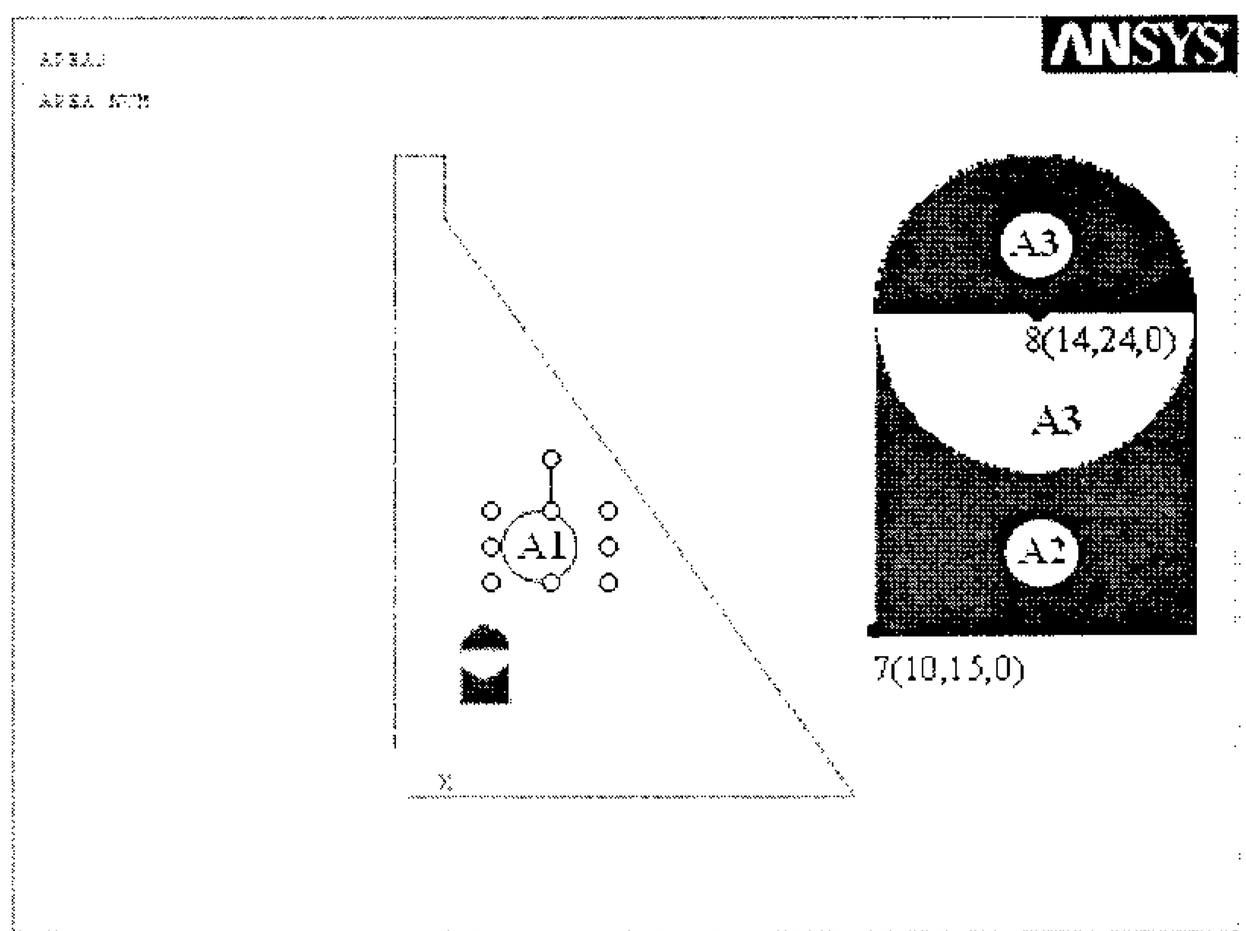


Hình 4.76. *Mã điểm và đường chu vi đập*



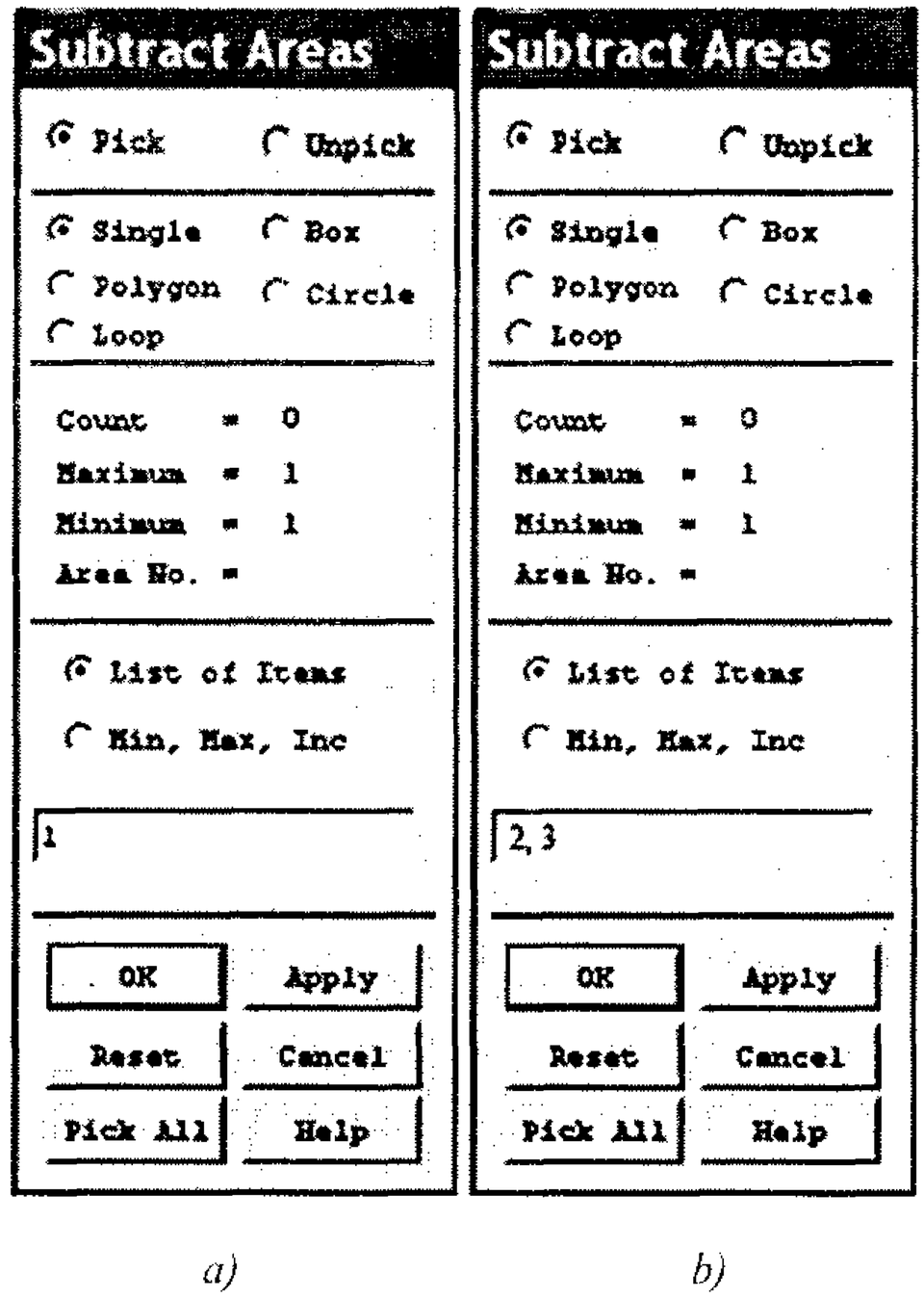
a) *b)*

Hình 4.77. *Lệnh tạo diện tích chữ nhật và hình tròn*



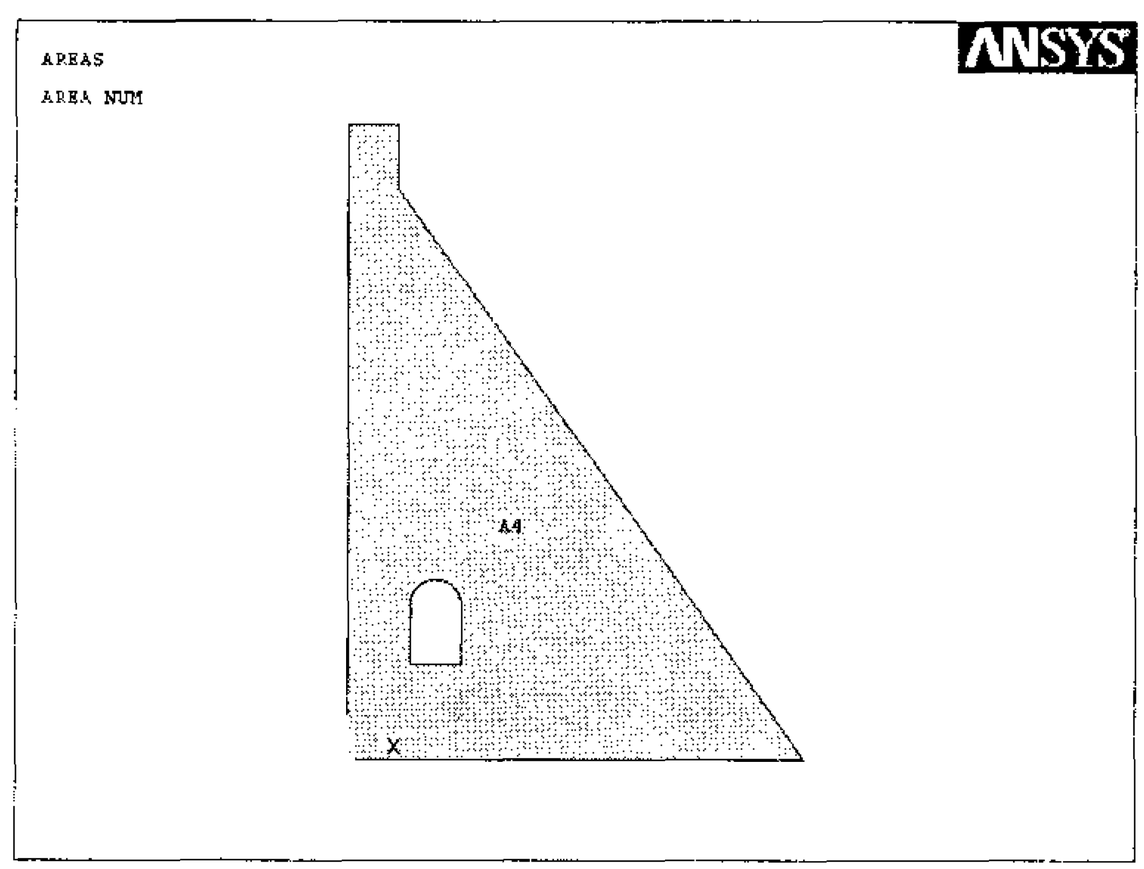
Hình 4.78. *Mô hình hóa hành lang đập*

Tiếp đến dùng phép trừ (Substrat) A1-A2-A3=A4 ta có mặt cắt ngang của đập, từ menu Preprocessor > Modeling > Operetes > Boolians > Substract > Xuất hiện bảng Substract Area > Nhấn chuột vào diên tích chữ nhật A1 > Apply > Nhấn chuột vào A2 và A3 > OK hoặc nhập 1 vào cửa nhập lệnh ở bảng Substract Areas như ở hình 4.79a> Apply > Nhập 2, 3 vào vào cửa nhập lệnh như ở hình 4.79b > OK, ta có mặt cắt ngang của đập có hành lang như ở hình 4.80.



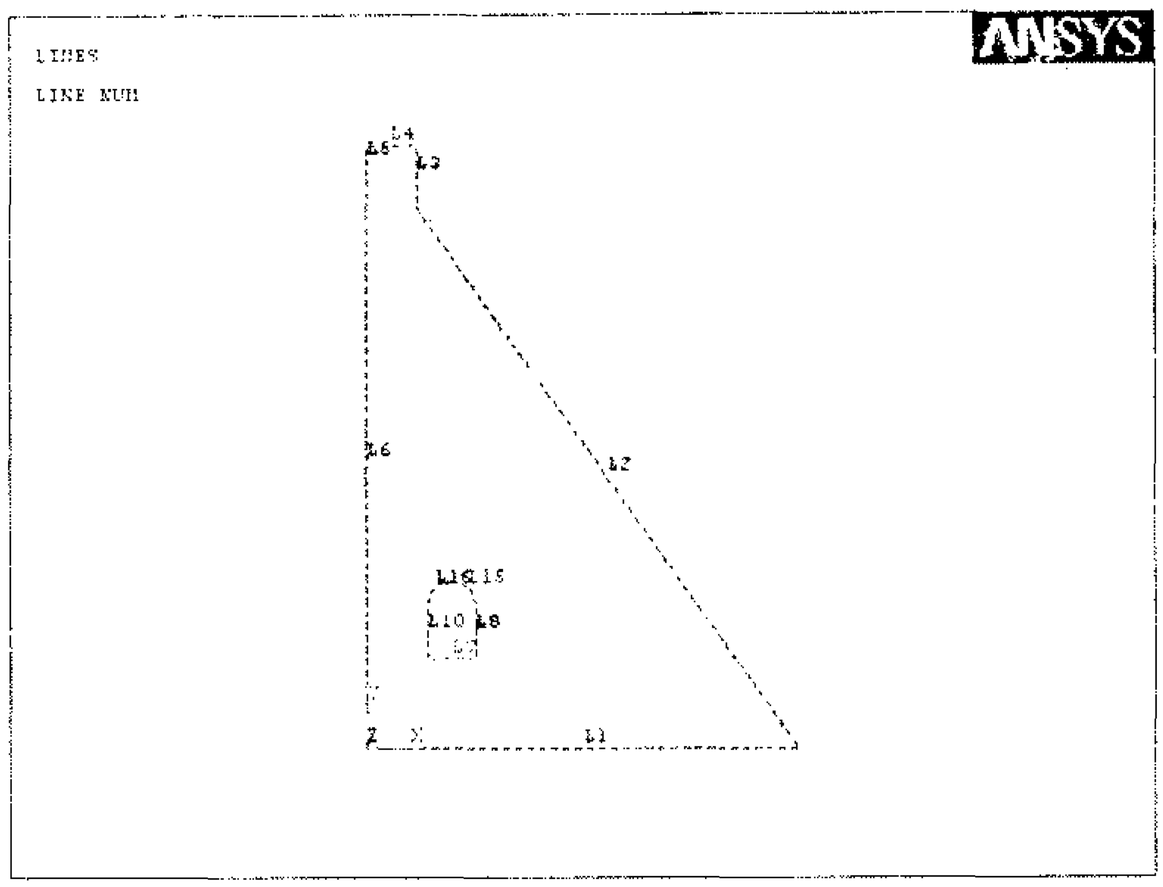
a) *b)*

Hình 4.79. *Nhập lệnh chọn diện ticha A1, A2 và A3*



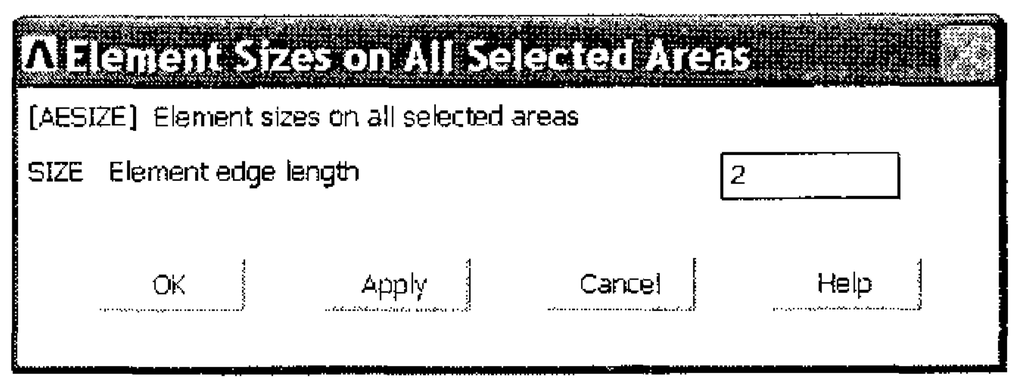
Hình 4.80. *Mô hình mặt cắt ngang đập*

- *Hiển thị mã đường chu vi đập, lành lang đập*: Ta thực hiện như sau: Plot > Lines > PlotCtrls > Numbering > ☑ On ở dòng LINE Line Number > OK > Ta có đường chu vi đập, hành lang như ở hình 4.81.



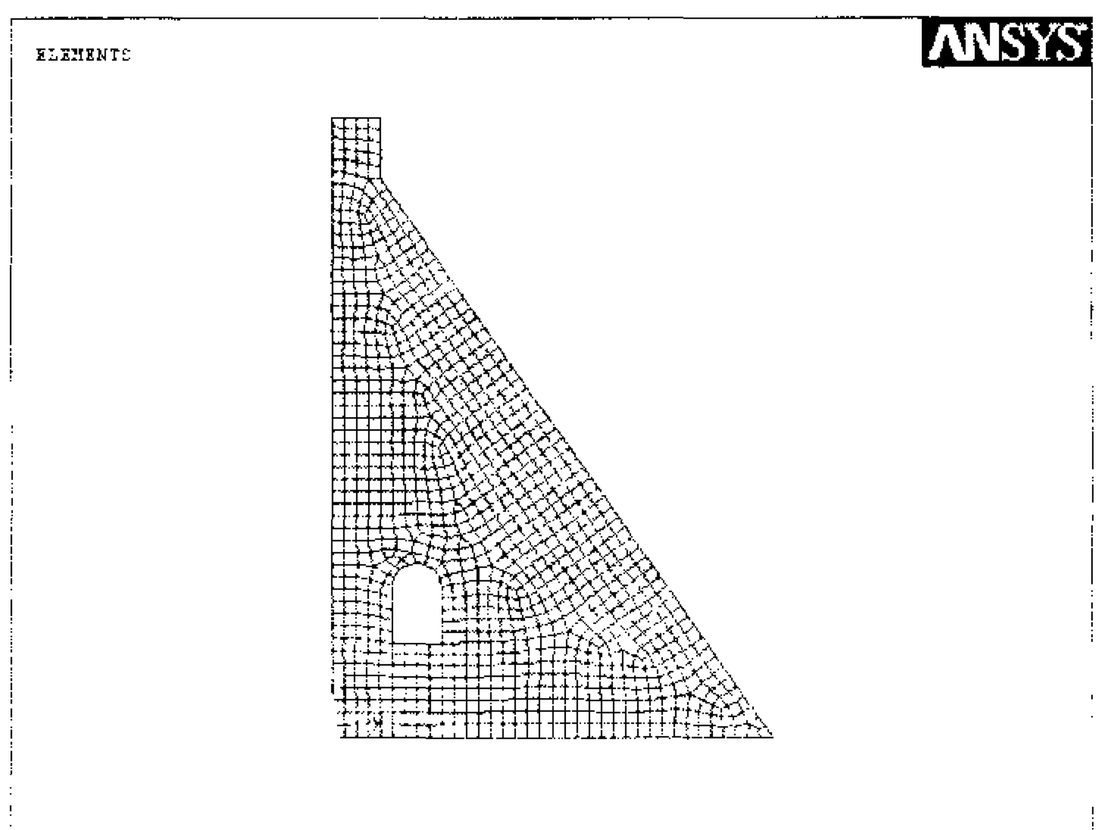
Hình 4.81. *Đường chu vi đập và hành lang*

- *Chọn kích thước phần tử*: Từ Preprocessor > Meshing > Size Contrls > ManualSize > All Areas > Xuất hiện bảng Element Sizes on All Selected Areas như ở hình 4.82 > Nhập chiều dài cạnh phần tử 2m > OK.



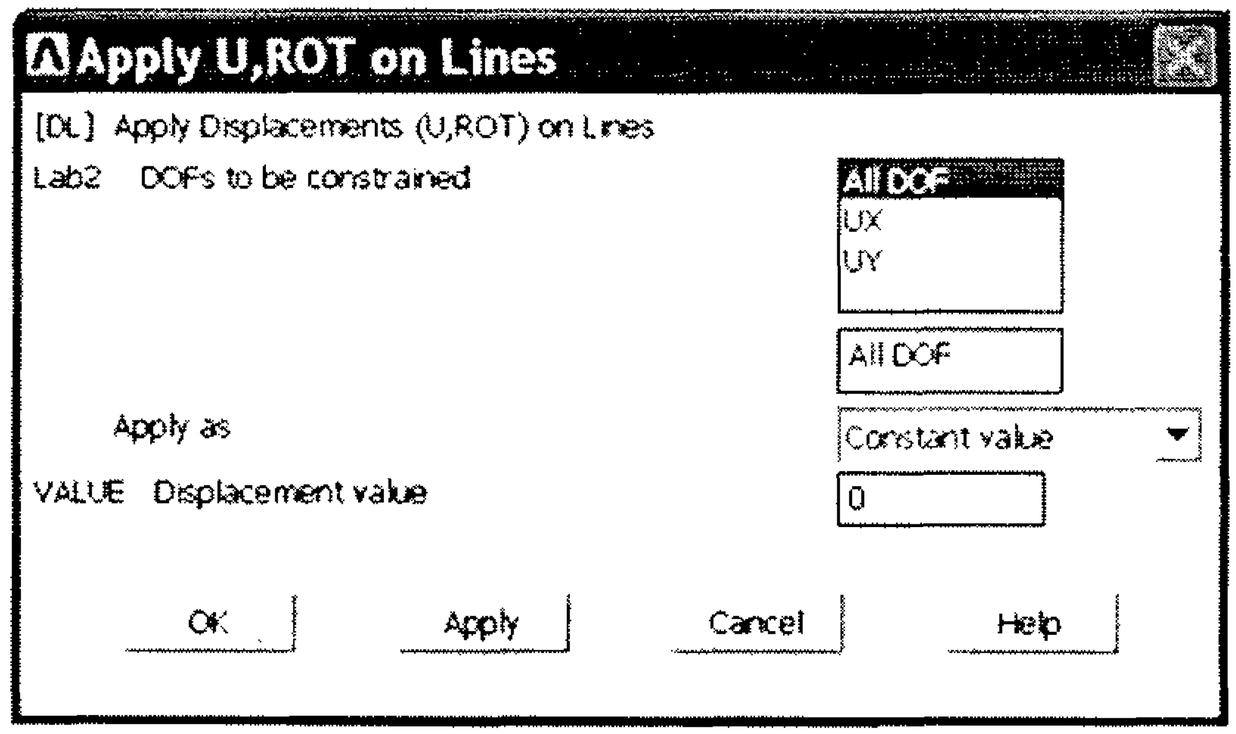
Hình 4.82. *Nhập chiều dài cạnh phần tử*

- *Chia lưới phần tử đập*: Từ Preprocessor > Meshing > Mesh > Area > Free > Pick All, ta có mô hình phần tử hữu hạn đập như ở hình 4.83.



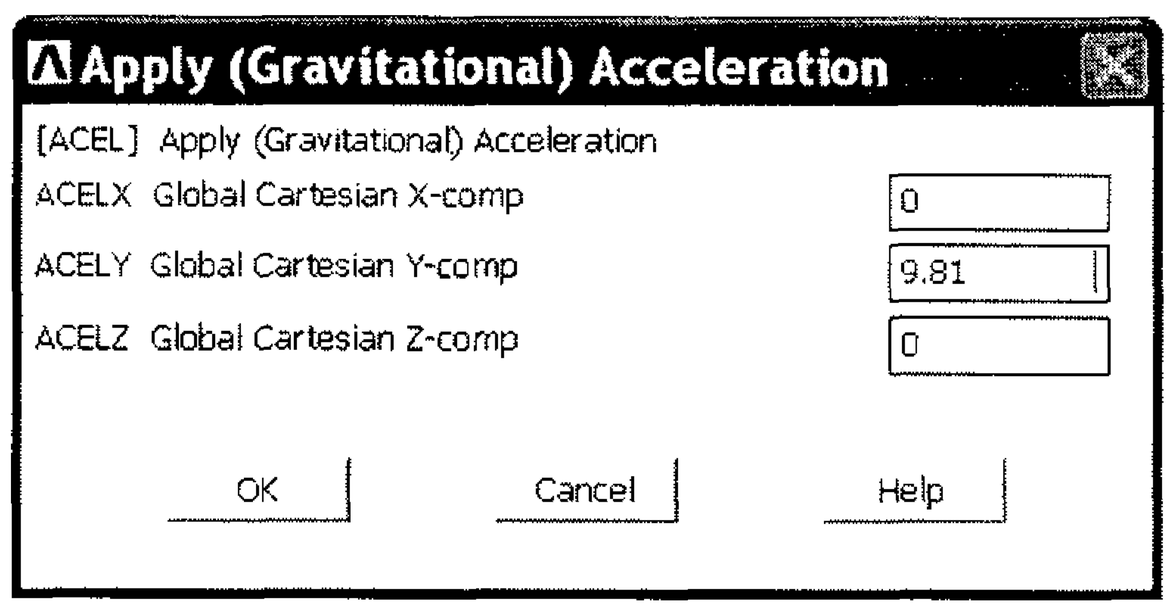
Hình 4.83. *Mạng lưới phần tử mô hình đập*

- *Gán ràng buộc chuyển vị ở đáy đập*: Từ Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Lines > Xuất hiện bảng Apply U, ROT on Lines > Chọn đường L1 > OK > Xuất hiện bảng Apply U, ROT on Lines > Chọn Constant Value, trong Displacement Value nhập giá trị 0 như ở hình 4.84 > OK.



Hình 4.84. *Gán ràng buộc dưới đáy đập*

- *Gán gia tốc trọng trường*: Từ Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Inertia > Gravity > Global > Xuất hiện bảng Apply (Gravitational) Acceleration như ở hình 4.85, nhập 9.81 theo phương Y trong ACELY Global Acceleration > OK.

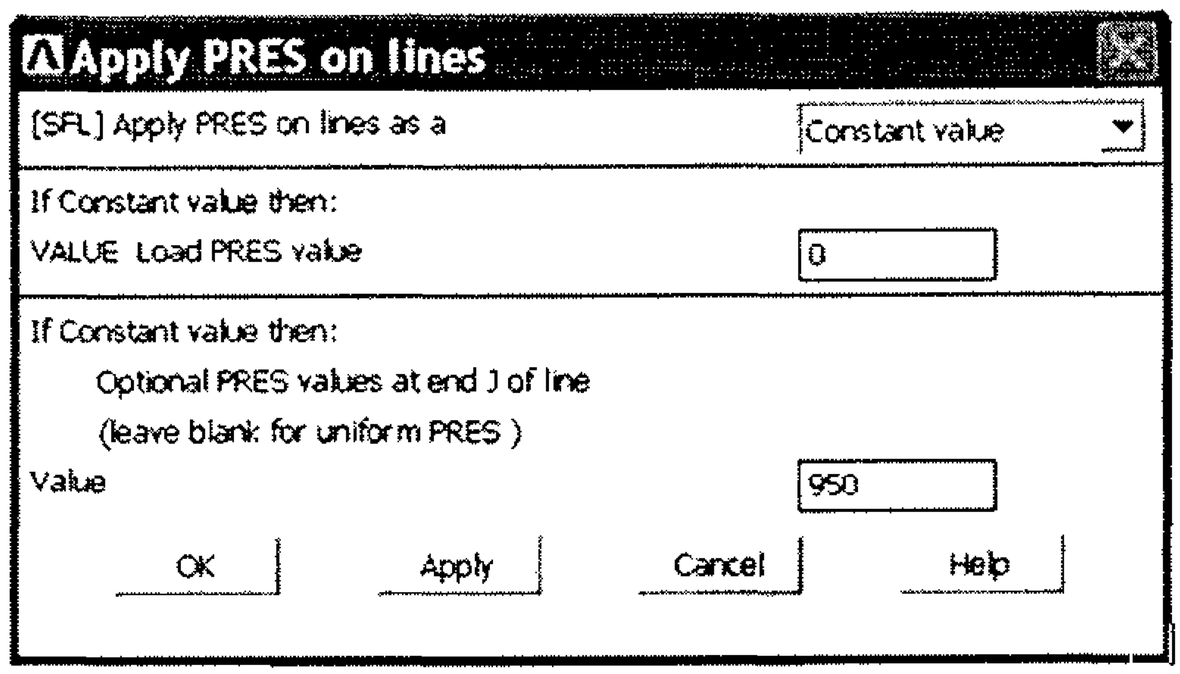


Hình 4.85. *Nhập gia tốc trọng trường*

- *Gán áp lực nước*: Từ Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Lines > Global > Xuất hiện bảng Apply PRES on Lines > Xuất hiện bảng chọn Lines > Dùng chuột chọn đường L6 > OK > Xuất hiện bảng Apply PRES on Lines như ở hình 4.86 > Nhập 0 và 950 trong cửa sổ khai báo > OK.

- *Chọn kiểu phân tích*: Solution > Analysis Type > New Analysis > Xuất hiện bảng New Analysis > Chọn ⊙ Static > OK.

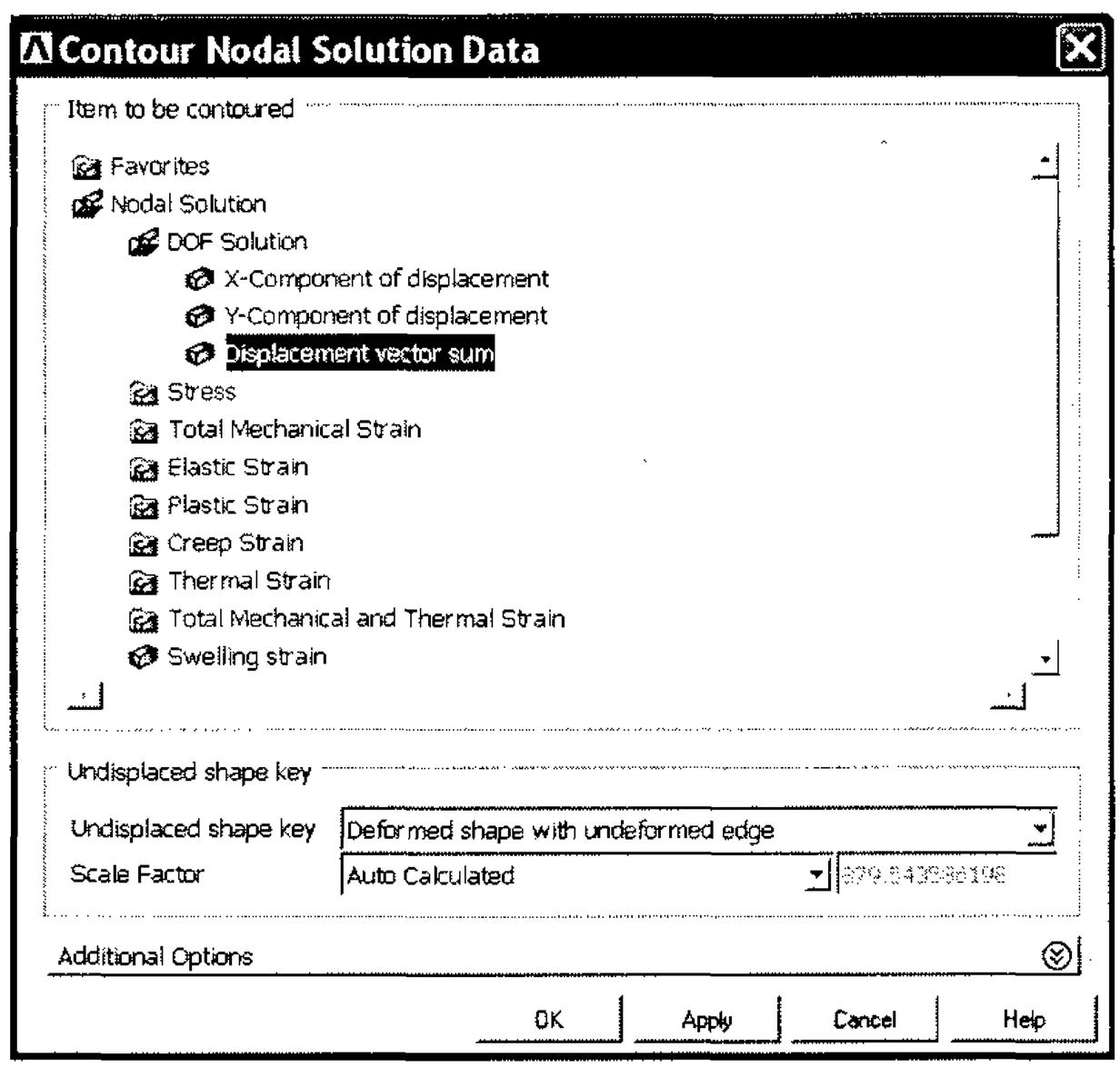
- *Chạy chương trình*: Từ Main Menu > Solution > Solve > Current LS > Xuất hiện bảng STATUS Command và bảng Solve current Load Step, thông báo tóm tắt các thông tin trước khi tính toán. Nhấn OK để bắt đầu tính toán đến khi xuất hiện thông báo Solution is done cho biết việc tính toán đã hoàn thành > Close.



Hình 4.86. Gán áp lực nước ở mặt thượng lưu đập

b) Khai thác kết quả tính toán

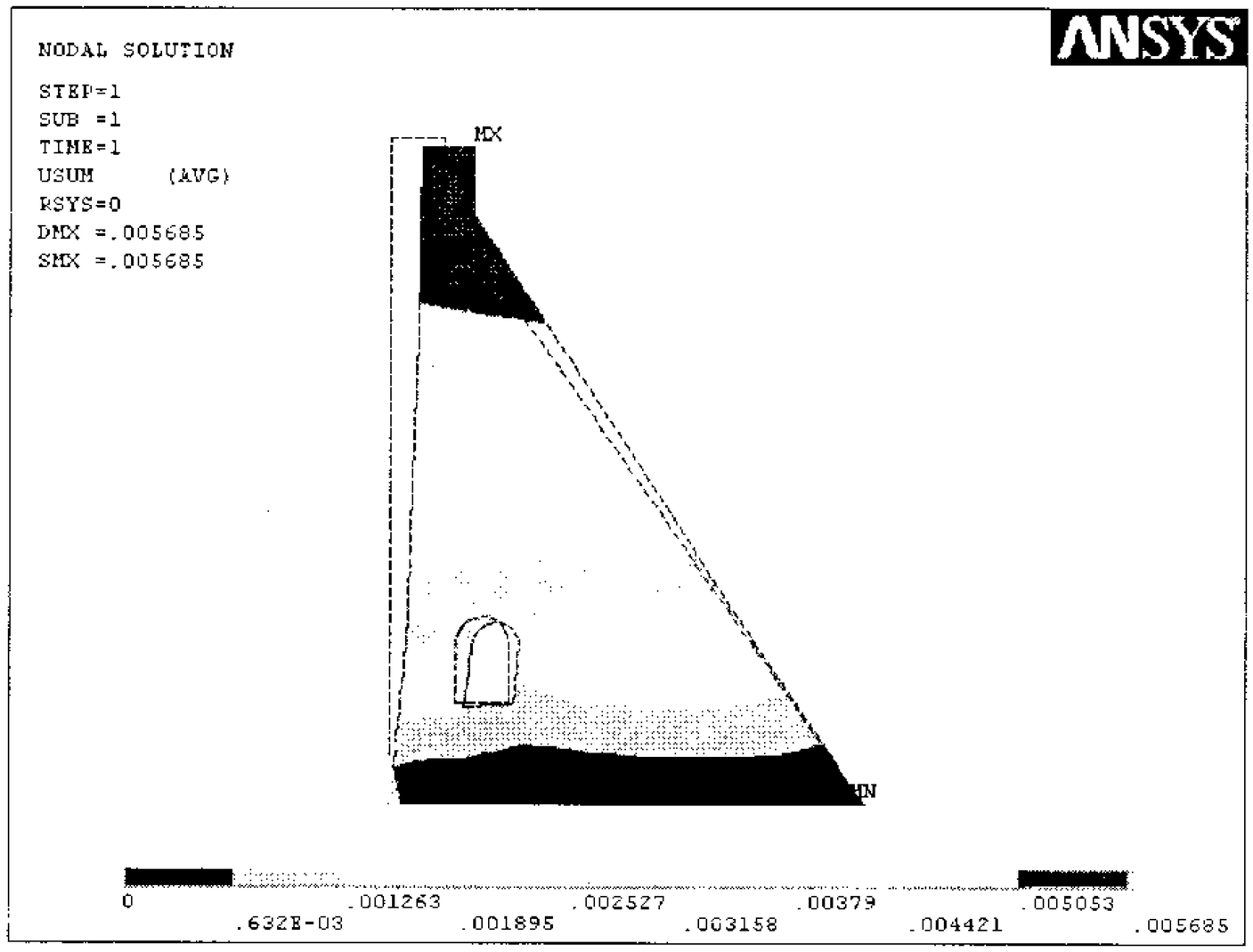
- *Chuyển vị của đập*: General Postproc > Contour Plot Results > Nodal Solution > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data như ở hình 4.87 > Nodal Solution > DOF Solution > Displacement vector sum > OK > Ta có phổ mầu chuyển vị của đập như ở hình 4.88, chuyển vị tổng cộng lớn nhất DMX = 0.005685m.



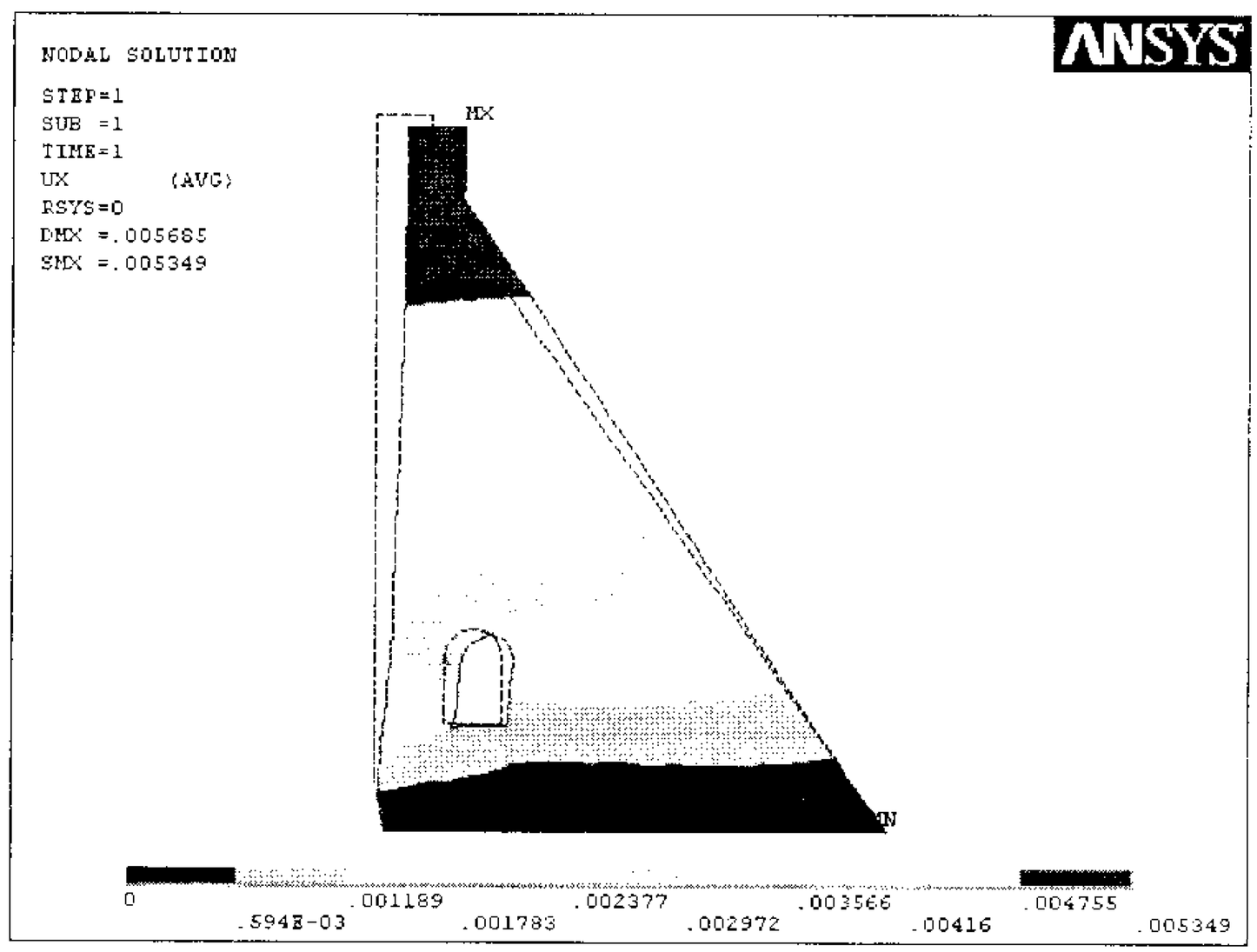
Hình 4.87. Chọn hiển thị phổ mầu chuyển vị tổng cộng

- *Hiển thị phổ chuyển vị của đập theo phương ngang*: General Postproc > Contour Plot Results > Nodal Solution > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data > Nodal Solution > DOF Solution > X-Component of Displacement > OK > Ta có phổ mầu chuyển vị theo phương X như ở hình 4.89, chuyển vị ngang lớn nhất SMX = 0.005349m.

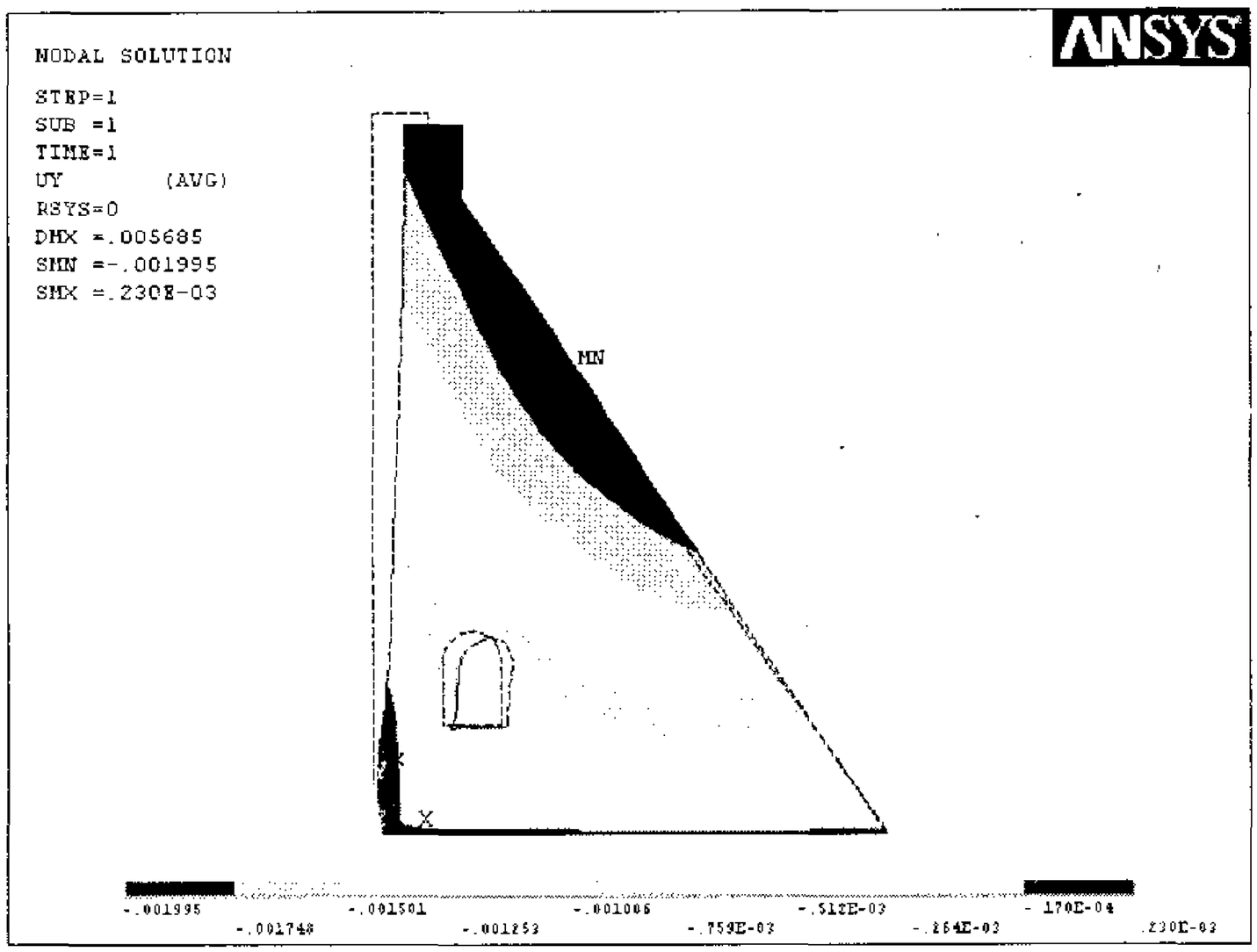
- *Hiển thị phổ chuyển vị của đập theo phương đứng*: General Postproc > Contour Plot Results > Nodal Solution > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data > Nodal Solution > DOF Solution > Y-Component of Displacement > OK > Ta có phổ mầu chuyển vị theo phương Y như ở 4.90. Chuyển vị đứng lớn nhất SMX = 0.0009518m.



Hình 4.88. *Phổ mầu chuyển vị tổng cộng của đập*

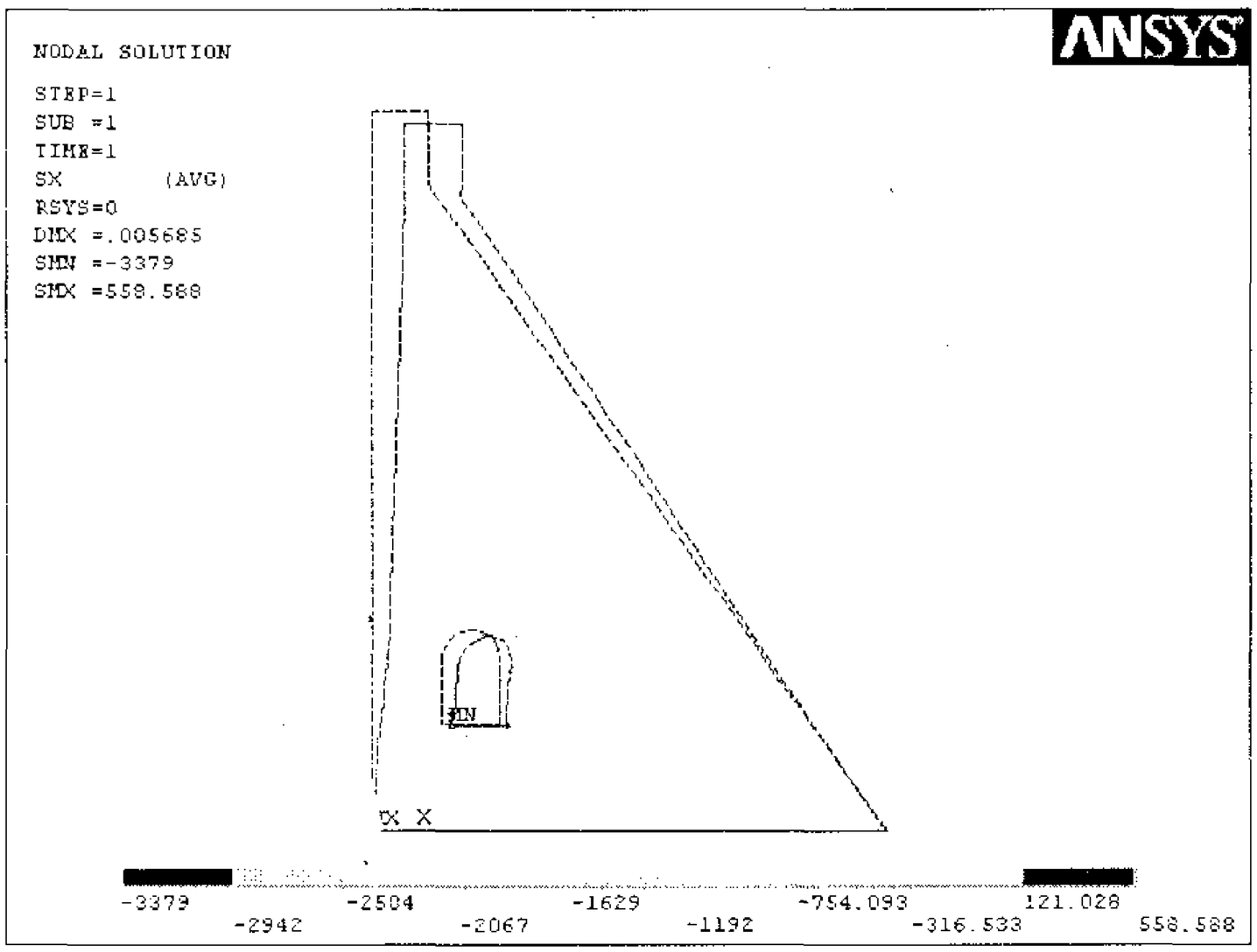


Hình 4.89. *Phổ mầu chuyển vị của đập theo phương X*



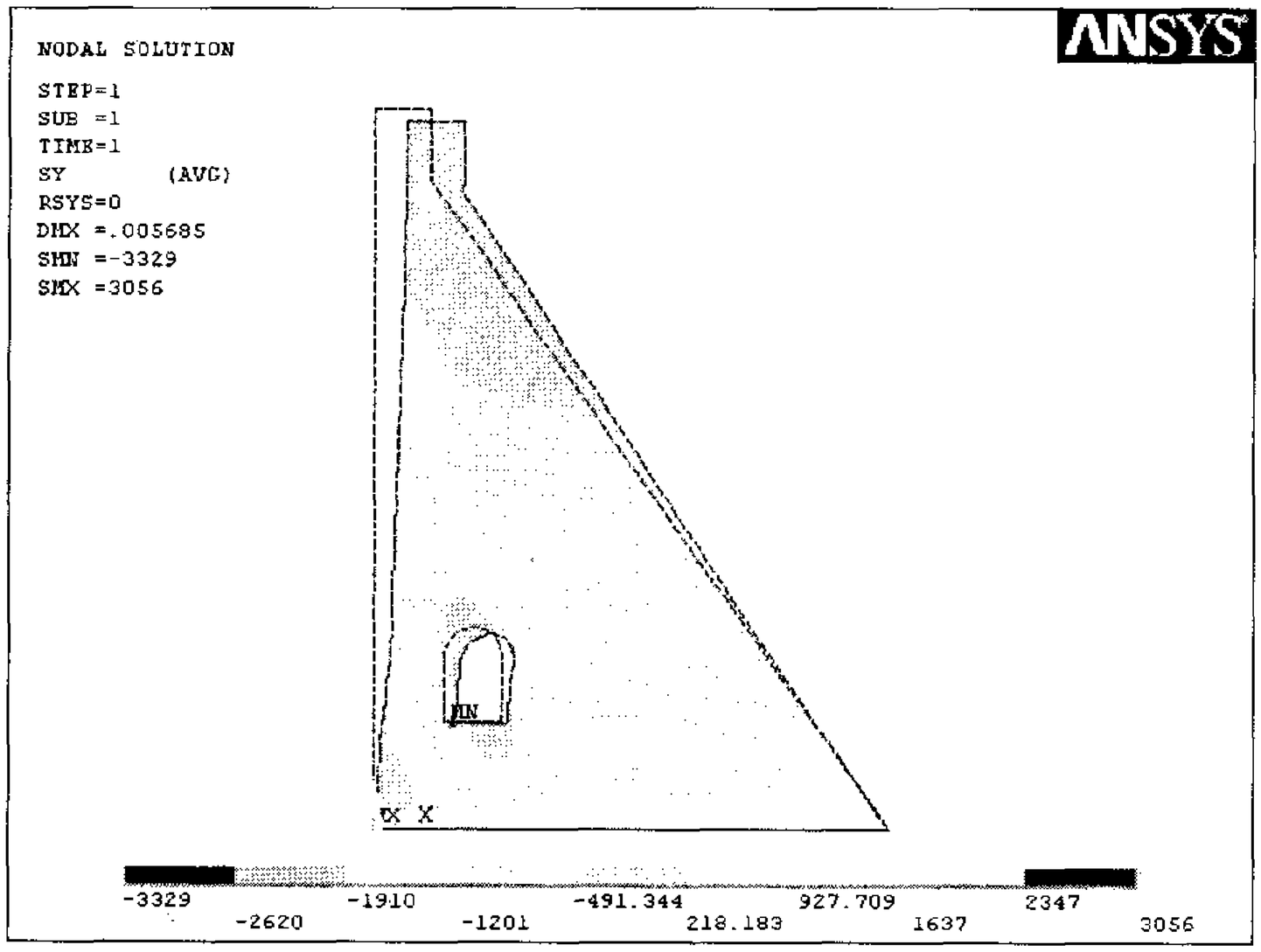
Hình 4.90. *Phổ mầu biến dạng DY của đập*

- *Hiển thị phổ ứng suất của đập theo phương ngang X*: General Postproc > Plot Result > Contour Plot > Nodal Solu > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data > Nodal Solution > Stress > X-Component of Stress > OK > Ta có phổ mầu ứng suất SX như ở hình 4.91.

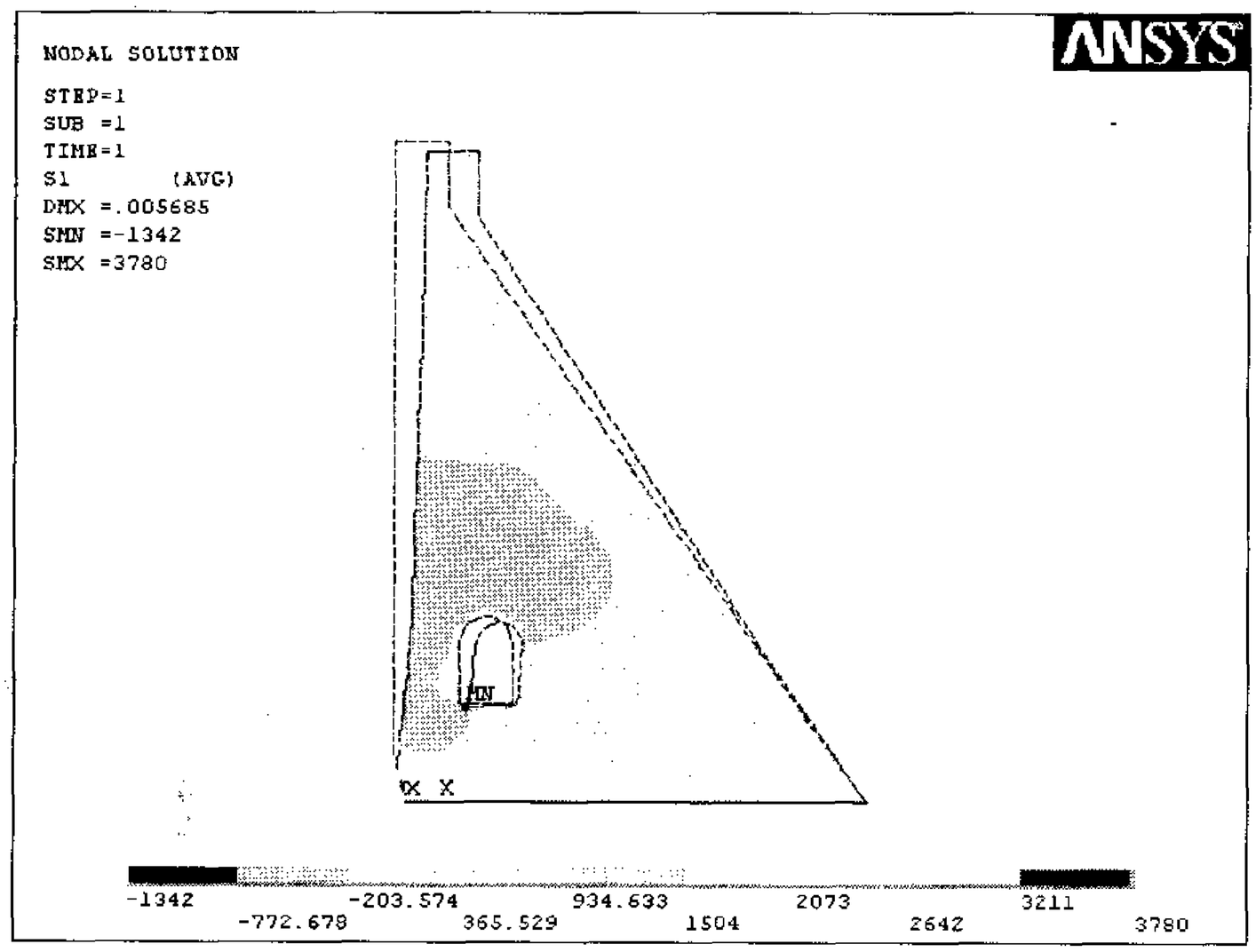


Hình 4.91. *Phổ mầu ứng suất SX của đập*

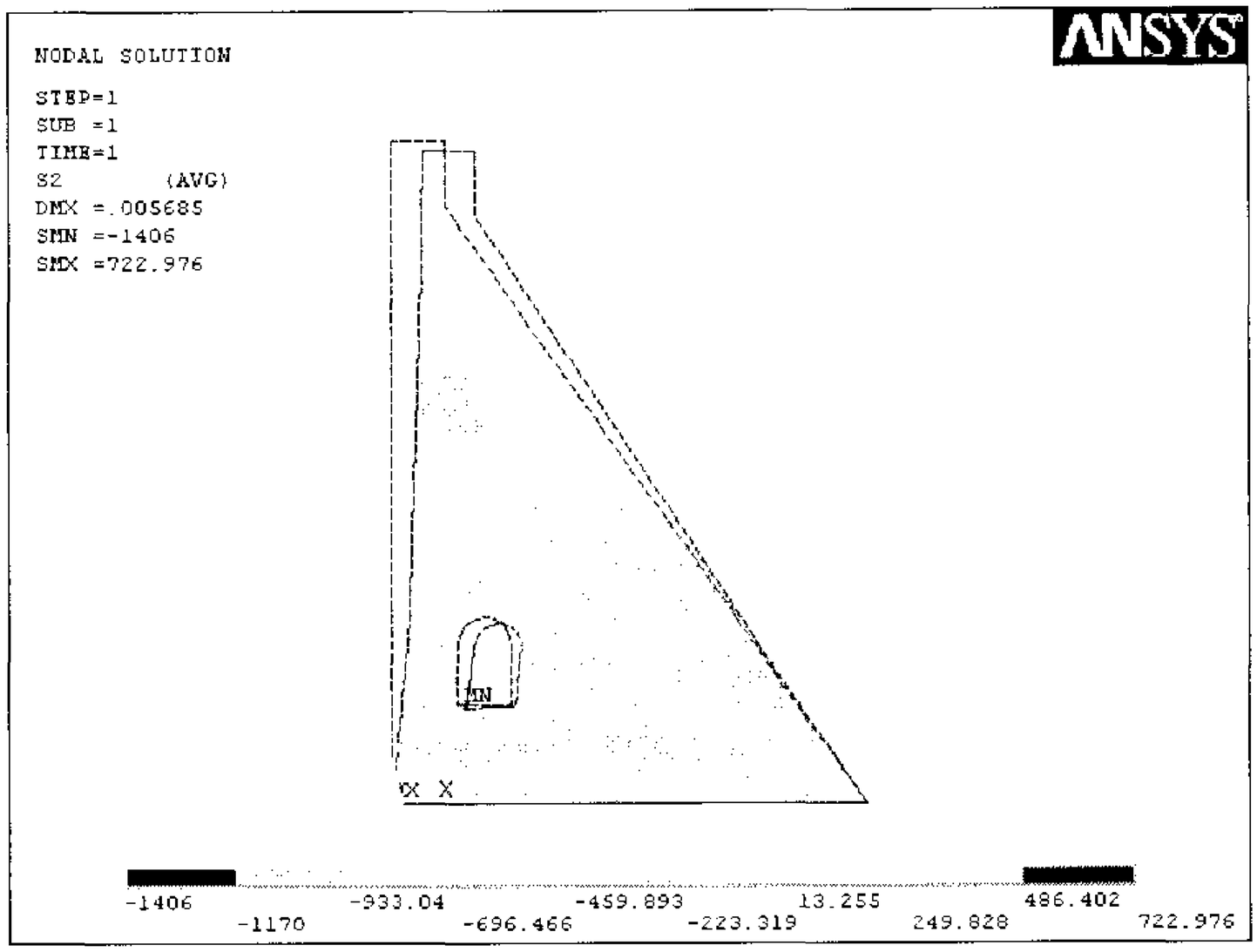
- *Hiển thị phổ ứng suất của đập theo phương đứng Y*: General Postproc > Plot Result > Contour Plot > Nodal Solu > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data > Nodal Solution > Stress > Y-Component of Stress > OK > Ta có phổ mầu ứng suất SY như ở hình 4.92.



Hình 4.92. *Phổ mầu ứng suất SY của đập*



Hình 4.93. *Phổ mầu ứng suất chính S1 của đập*



Hình 4.94. *Phổ mầu ứng suất chính S2 của đập*

- *Chuyển vị tại các nút của đập*: General Postprocessor > List Results > Nodal Solution > Xuất hiện bảng List Nodal Solution > Nhấn DOF Solution > Chọn Displacement Vector USUM > OK > Xuất hiện bảng kết quả tính toán giá trị chuyển vị tại các nút của đập cho ở bảng 4.18. Từ bảng này cho thấy chuyển vị tổng cộng lớn nhất ở đỉnh đập tại nút 186 có USUM = 0.0056946m.

Bảng 4.18. Chuyển vị tại một số nút của đập

PRNSOL Command

File

```
***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

 LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
  TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0

 THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL
COORDINATE SYSTEM

   NODE      UX           UY           UZ          USUM
    186  0.53490E-02-0.19248E-02  0.0000     0.56848E-02
    187  0.51752E-02-0.18860E-02  0.0000     0.55082E-02
    188  0.51965E-02-0.18959E-02  0.0000     0.55316E-02
    189  0.52172E-02-0.19027E-02  0.0000     0.55533E-02
    190  0.52366E-02-0.19082E-02  0.0000     0.55734E-02

   3035  0.18043E-02-0.10472E-02  0.0000     0.20862E-02
   3036  0.21849E-02-0.11005E-02  0.0000     0.24464E-02
   3037  0.20183E-02-0.11373E-02  0.0000     0.23167E-02
   3038  0.23346E-02-0.11404E-02  0.0000     0.25983E-02

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES
NODE        186          156           0          186
VALUE   0.53490E-02-0.19952E-02  0.0000     0.56848E-02
```

- *Ứng suất tại các nút của đập*: General Postprocessor > List Results > Nodal Solution > Xuất hiện bảng List Nodal Solution > Nhấn Nodal Solution > Stress > OK > Xuất hiện bảng PRNSOL Command kết quả tính toán các thành phần ứng suất tại các nút của đập cho ở bảng 4.19. Từ bảng này cho thấy ứng suất lớn nhất tại nút 1 có SX = 470.61, SY = 3139.7, SZ = 722.07, SXY = 1222.0kN/m^2.

Bảng 4.19. Ứng suất tại một số nút của đập

PRNSOL Command

File

```
PRINT S    NODAL SOLUTION PER NODE

 ***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****
 PowerGraphics Is Currently Enabled

 LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
  TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0
 NODAL RESULTS ARE FOR MATERIAL   1

 THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

   NODE     SX          SY          SZ          SXY         SYZ         SXZ
      1   558.59      3056.3      722.98      1527.1      0.0000      0.0000
      2  -169.87     -662.13     -166.40      407.90      0.0000      0.0000

MINIMUM VALUES
NODE         324         324         324         326           1           1
VALUE    -3379.5     -3329.5     -1341.8     -400.30      0.0000      0.0000

MAXIMUM VALUES
NODE           1           1           1         324           1           1
VALUE     558.59      3056.3      722.98      1948.1      0.0000      0.0000
```

- *Phản lực liên kết*: General Postprocessor > List Results > Reaction Solution > Xuất hiện bảng List Reaction Solution > Chọn All Items > OK > Xuất hiện bảng PRRSOL Command cho kết quả tính toán các thành phần phản lực tại nền đập như ở bảng 4.20.

Bảng 4.20. Phản lực liên kết

PRRSOL Command

File

```
PRINT REACTION SOLUTIONS PER NODE

 ***** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING *****

 LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
  TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0

 THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

   NODE       FX          FY
      1   -1026.5     -1500.8
      2   -101.83      203.86
      3   -799.52     -1171.3

     71   -752.43      1345.0
     72   -351.69      629.55
     73   -678.02      1100.1

 ***** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING *****

 LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
  TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0

 THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

   NODE       FX          FY

TOTAL VALUES
VALUE    -45125.      85972.
```

Từ bảng 4.20 cho biết tổng giá trị phản lực ngang ΣFX = -45125kN bằng tổng giá trị áp lực nước ngang $0.5\gamma_n Hn2B = 0.5\times10\times952\times1 = 45235$kN và tổng phản lực đứng ΣFY = 85972kN bằng tổng trọng lượng bản thân đập:

$$G=24\times[8\times10+0.5\times(8+72)\times90-8\times9-0.5\times42\times3.1416]\times1=85989\cong85972kN$$

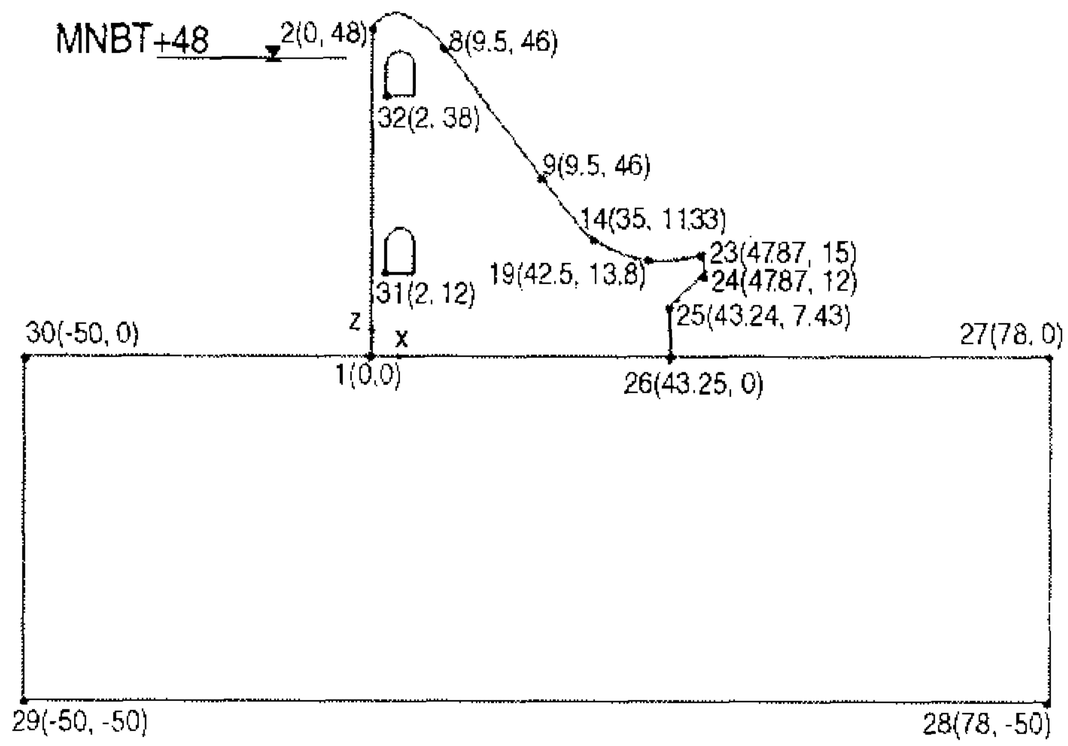
2. Phương thức COMMAND

```
/TITLE,Vi du 4.5 - Dap trong luc
/PREP7
ET,1,PLANE183
KEYOPT,1,3,2            !Bài toán biến dạng phẳng
MP,EX,1,2400
MP,PRXY,1,0.2
MP,DENS,1,2.446
K,1,0,0,0
K,2,72,0,0
K,3,8,90,0
K,4,8,100,0
K,5,0,100,0
K,6,95,0,0
/PNUM,KP,ON             !Hiển thị mã các điểm đặc trưng
A,1,2,3,4,5             !Mặt được tạo từ các điểm 1, 2, 3, 4, 5
ESIZE,ALL,,,2           !Chọn kích thước phần tử
AMESH,ALL               !Chia lưới phần tử của đập
NSEL,S,LOC,Y,0          !Lựa chọn các điểm trên đường Y=0
D,ALL                   !Chọn ràng buộc chuyển vị
ALLSEL,ALL
ACEL,,9.81              !Gán gia tốc trọng trường
SFL,5,PRES,0,1200       !Gán áp lực nước
/SOLU
ANTYPE,STATIC           !Phân tích tĩnh tải
SOLVE                   !Tiến hành giải
 FINISH
/POST1
PLDISP,1                !Vẽ biến dạng đập
PLNSOL,U,X              !Vẽ phổ chuyển vị đập theo phương X
PLNSOL,U,Y              !Vẽ phổ chuyển vị đập theo phương Y
PLNSOL,S,X              !Vẽ phổ ứng suất đập theo phương X
PLNSOL,S,Y              !Vẽ phổ ứng suất đập theo phương Y
PLNSOL,S,1              !Vẽ phổ ứng suất chính đập theo phương 1
FINISH
```

• **Ví dụ 4.6: Đập tràn tự do**

Xác định trạng thái ứng suất và chuyển vị của đập tràn theo bài toán phẳng có chiều dày 1m. Đập có kích thước mặt cắt ngang như ở hình 4.95, hành lang đập có kích thước W×R = (4×4.5×2)m và chịu áp lực nước với MNDBT + 48.0, trọng lượng riêng của nước γ_n =10kN/m^3. Đập bằng bê tông B20 có E_b = 2.4×107kN/m^2, γ_b = 24kN/m^3, α_b=0,2, nền đá có E_n = 4×106kN/m^2, γ_n = 19kN/m^3, α_n = 0.17.

Tọa độ các điểm trên mặt tràn										
Điểm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(m)	0	0	2.0	3.5	5.0	6.5	8.0	9.5	27.5	29.0
z(m)	0	48.0	49.8	50.0	49.55	48.7	47.6	46.0	22.0	20.03
Điểm	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
x(m)	30.5	32.0	33.5	35.0	36.5	38.0	39.5	41.0	42.5	44.0
z(m)	18.15	17.0	16.12	15.33	14.77	14.25	14.0	13.85	13.8	13.95
Điểm	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
x(m)	45.5	47	47.87	47.87	43.25	43.25	78.0	78.0	-50.0	-50.0
z(m)	14.23	14.68	15.0	12.0	7.43	14.23	0	-50.0	-50.0	0



Hình 4.95. *Mặt cắt ngang đập tràn*

1. Phương thức GUI

a) Xây dựng mô hình và giải bài toán

- *Đặt tên File bài toán*: Khởi động ANSYS, nhấn chuột vào biểu tượng > New Analysis > Analysis Jobname: Vidu 4.6 - Dap tran TD > OK. Đặt tên bài toán Menu File > Change Title > Xuất hiện bảng Change Title > Title: Vi du 4.6-Dap tran be tong trong luc.

- *Giới hạn phạm vi hiển thị các chức năng*: Preferences > Xuất hiện bảng Preferences for GUI Filtering > ☑ Structural > OK.

- *Chọn loại phần tử*: Chọn phần tử phẳng Plane183 có 8 điểm nút, mỗi nút có 2 thành phần chuyển vị là Ux và Uy. Từ Menu Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete

> Element Type > Add > Library of Element Types > Solid > 8nodes 183 > OK → Xuất hiện lại bảng Element Type và Plane183 đã được đưa vào danh sách > Options > PLANE183 element type options > Element Behavior K3: Plane strain > OK.

- *Định nghĩa thuộc tính của vật liệu*: Chọn hệ đơn vị: kN, m. Từ menu Preprocessor > Material Props > Material Model > Define Material Model Behavior > Nhấn Structural > Linear > Elastic > Isotropic > Linear Isotropic Properties for Material > Nhập EX = 2.4×107kN/m^2 và PRXY = 0.2 > Density > Nhập DENS = 2.446 (24/9.81 = 2.446) > > Để thoát khỏi chức năng này > Nhấn vào Material ở hàng trên cùng trong hình > Exit.

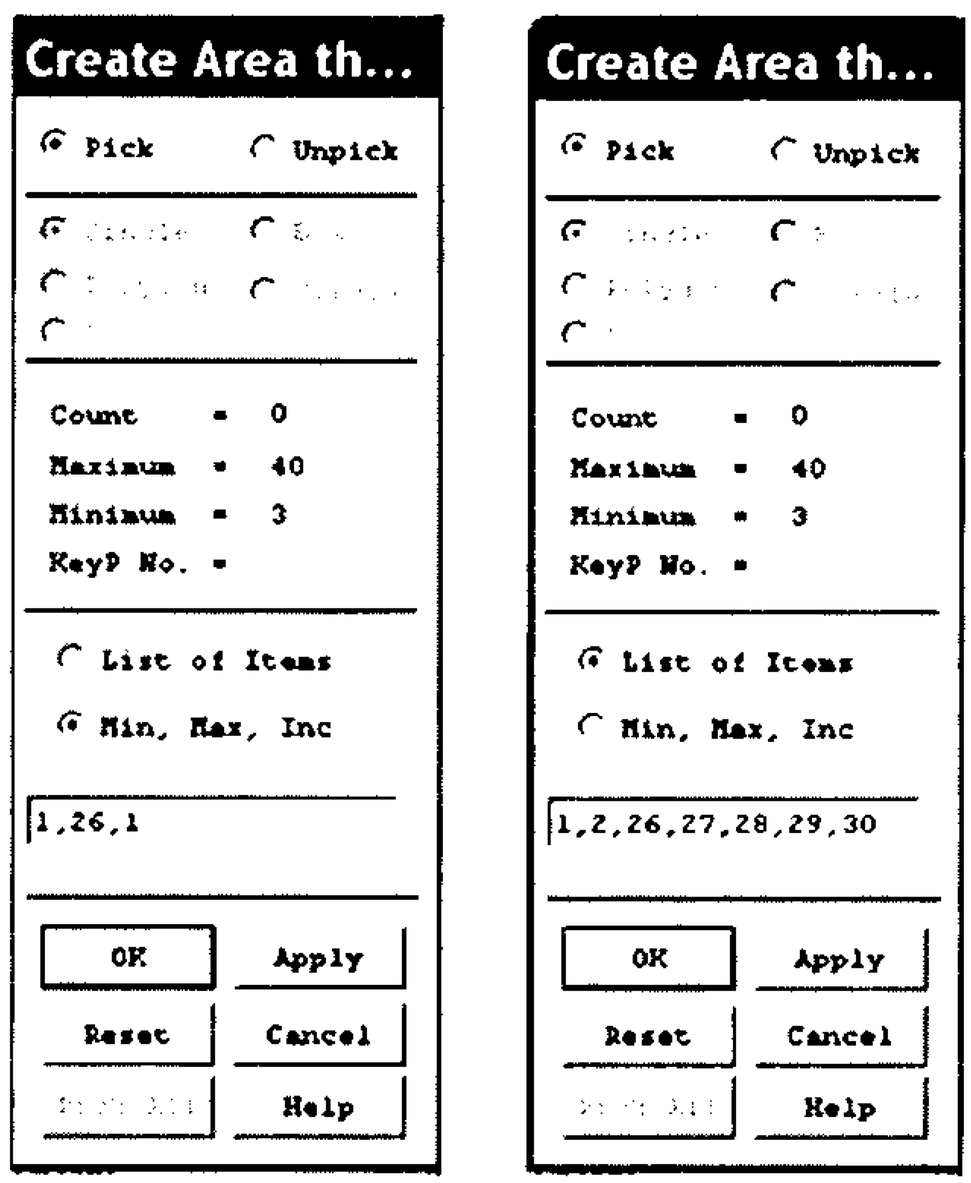
- *Tạo các điểm*: Để xây dựng mô hình hình học của dầm ta tạo 30 điểm có tọa độ cho trong bảng tọa độ mặt trên. Từ menu Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS > Xuất hiện bảng Create Keypoints in Active Coordinate System:

Nhập điểm 1 với tọa độ X=0, Y=0, Z=0 > Apply

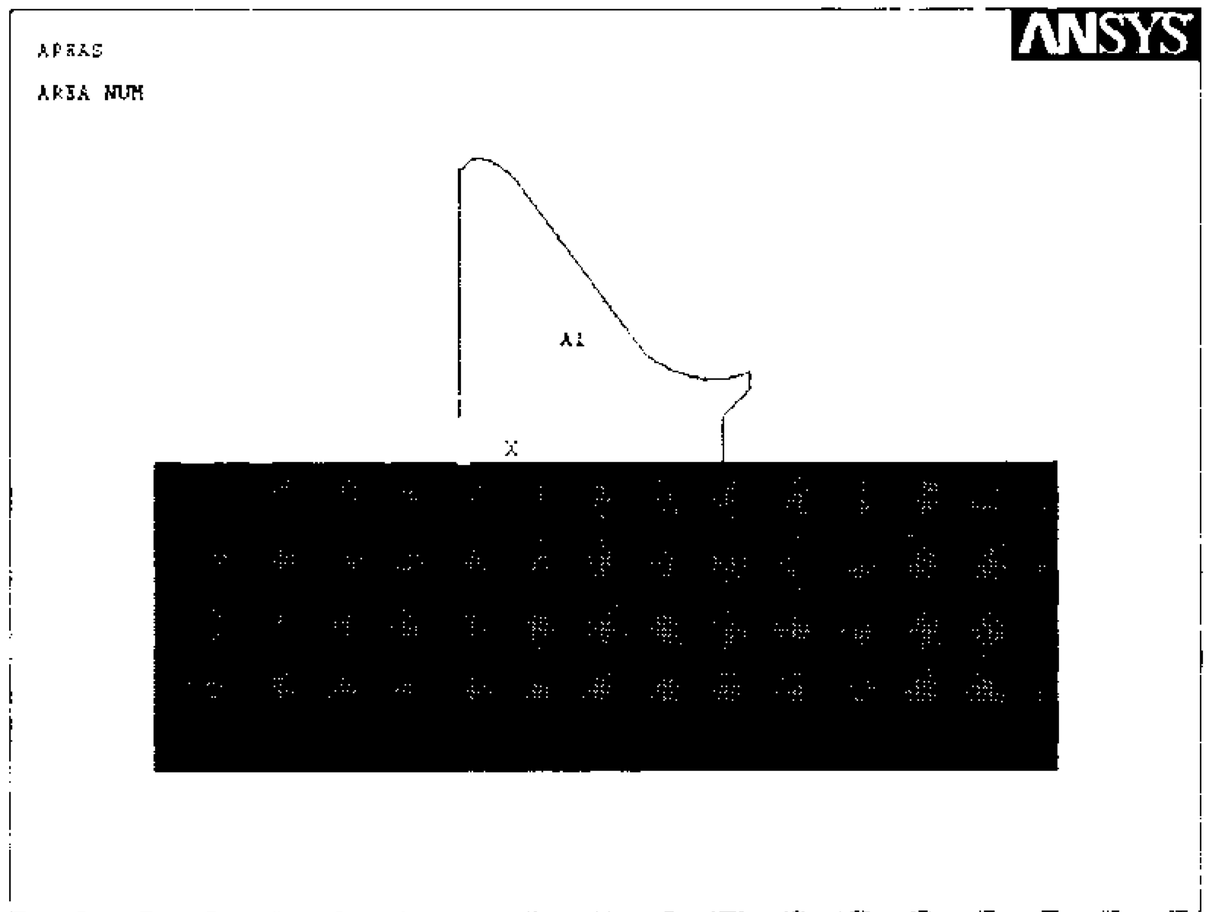
.....

Nhập điểm 30 với tọa độ X=0, Y=95, Z=0 > OK

- *Tạo mặt đập theo đường chu vi đập*: Từ Preprocessor > Modeling > Create > Areas > Arbitrary > Through KPs > Xuất hiện bảng Create Area through KPs > Nhập 1, 28, 1 vào cửa sổ nhập lệnh ở bảng Create Area through KPs như ở hình 4.96a > Apply, ta có diện tích A1 như ở hình 4.97. Tiếp tục nhập 1, 2, 26, 27, 28, 29, 30 vào bảng Create Area throughKPs như ở hình 4.96b > OK, ta có diện tích A2 như ở hình 4.97.

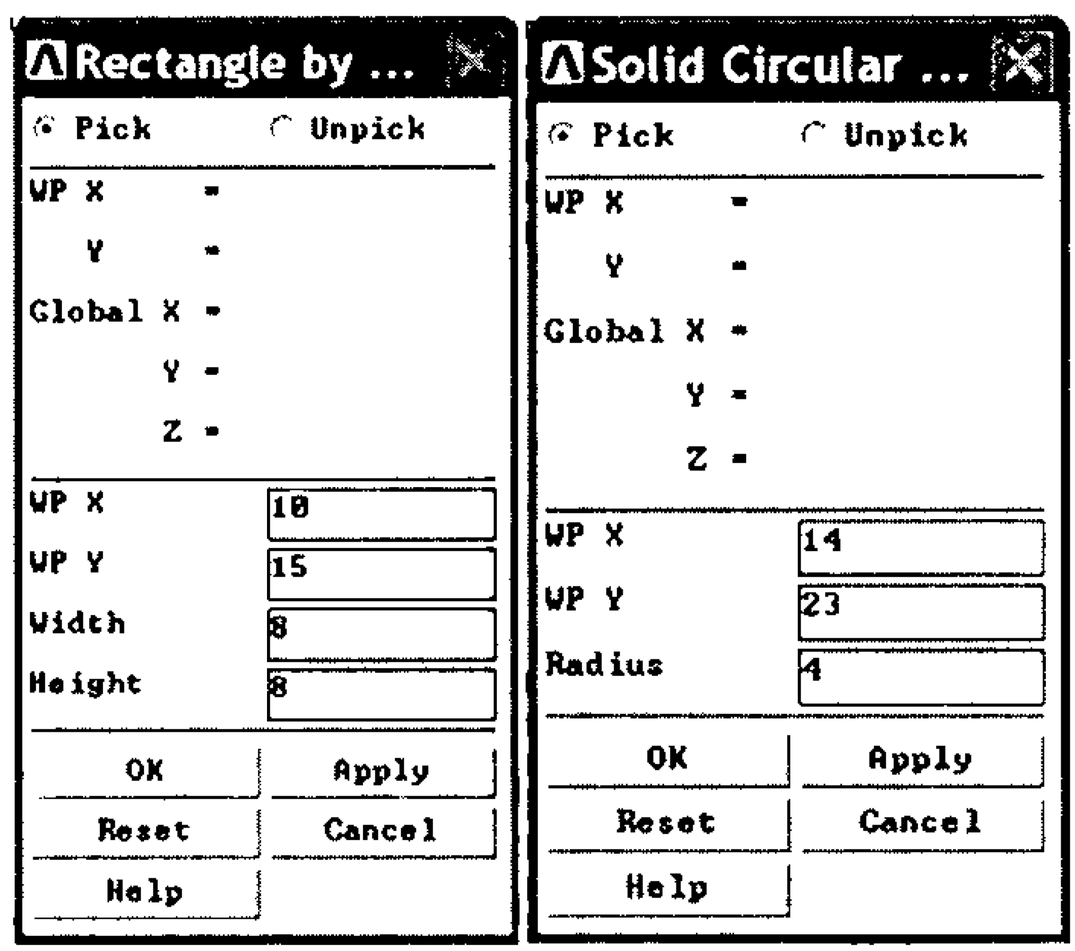


Hình 4.96. *Lệnh tạo diện tích mặt đập*



Hình 4.97. Diện tích A1, A2 mặt cắt ngang đập

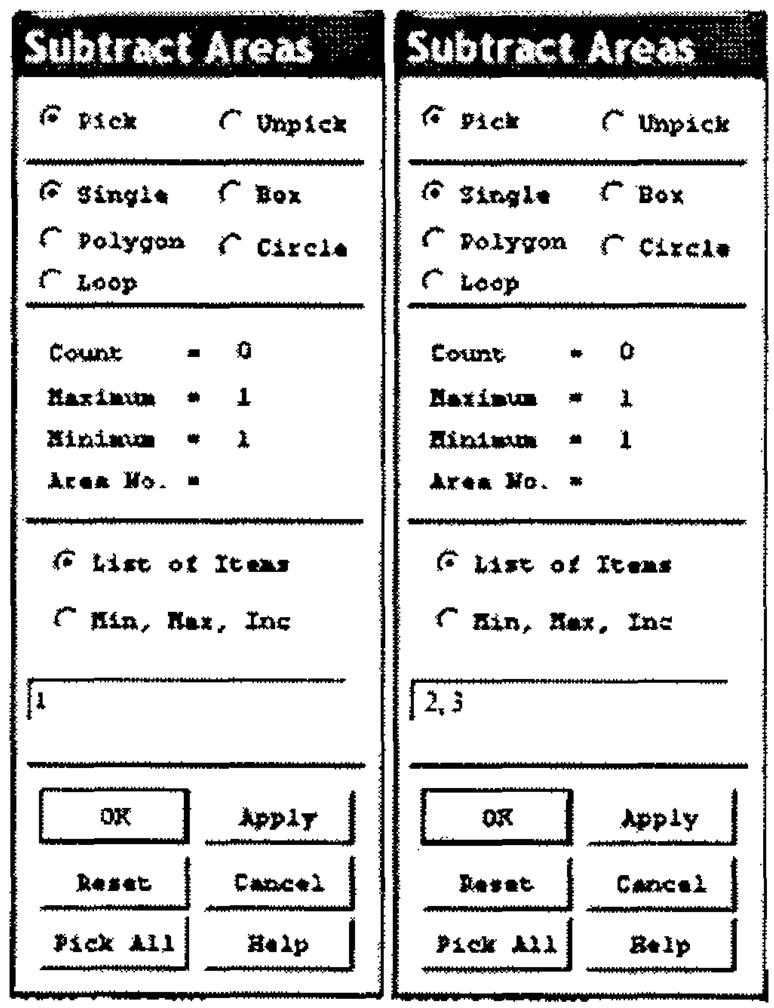
- *Hành lang đập*: Để tạo hành lang đập trước hết ta gán vào mô hình tiết diện phần dưới hành lang là hình chữ nhật có kích thước BW×H=(4×4.5)m, điểm góc dưới hình này có tọa độ 31, từ Preprocessor > Modeling > Create > Areas > Rectangular > Xuất hiện bảng Rectangle by 2 Corners như ở hình 4.98a > Nhập tọa độ điểm 31(2,12,0), bề rộng W=2 và chiều cao tiết diện chữ nhật H=4.5 > OK. Tiếp đến ta gán tiết diện tròn có tâm là điểm 32(4,16.5,0), có bán kính R=2m, từ Preprocessor > Modeling > Create > Areas > Solid Circles > Xuất hiện bảng Solid Circular như ở hình 4.98b > Nhập tọa độ điểm 8 và bán kính hình tròn > OK, ta có diện tích hình tròn được gán vào mặt cắt đập.



a) *b)*

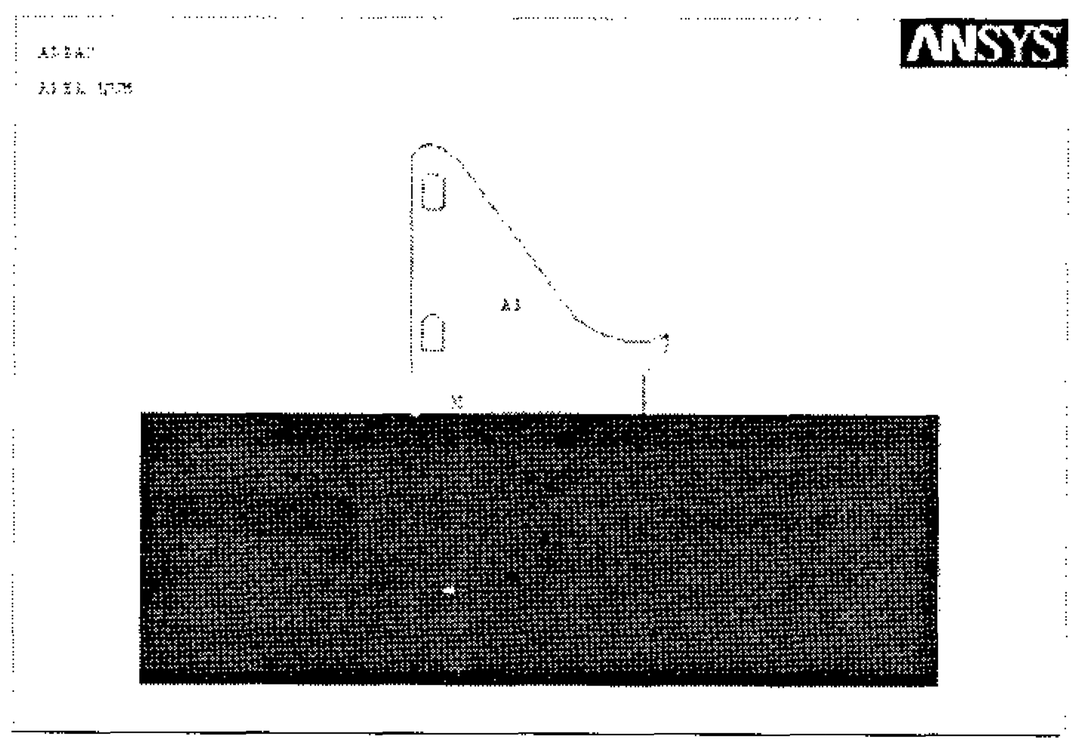
Hình 4.98. Lệnh gán diện tích chữ nhật và hình tròn

Tiếp đến dùng phép trừ (Substrat) A1-A2-A3 = A4 ta có mặt cắt ngang của đập, từ menu Preprocessor > Modeling > Operetes > Boolians > Substract > Xuất hiện bảng Substract Area > Nhấn chuột vào diện tích chữ nhật A1 > Apply > Nhấn chuột vào A2 và A3 > OK hoặc nhập 1 vào cửa nhập lệnh ở bảng Substract Areas như ở hình 4.99a> Apply > Nhập 2, 3 vào cửa nhập lệnh như ở hình 4.99b > OK, ta có mặt cắt ngang của đập có hành lang như ở hình 4.100.



a) *b)*

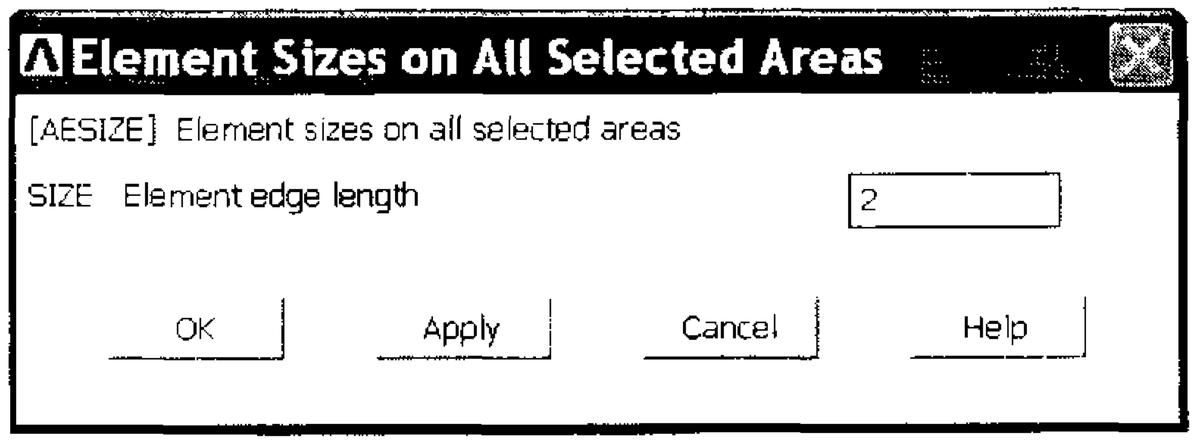
Hình 4.99



Hình 4.100. *Mô hình mặt cắt ngang đập và nền*

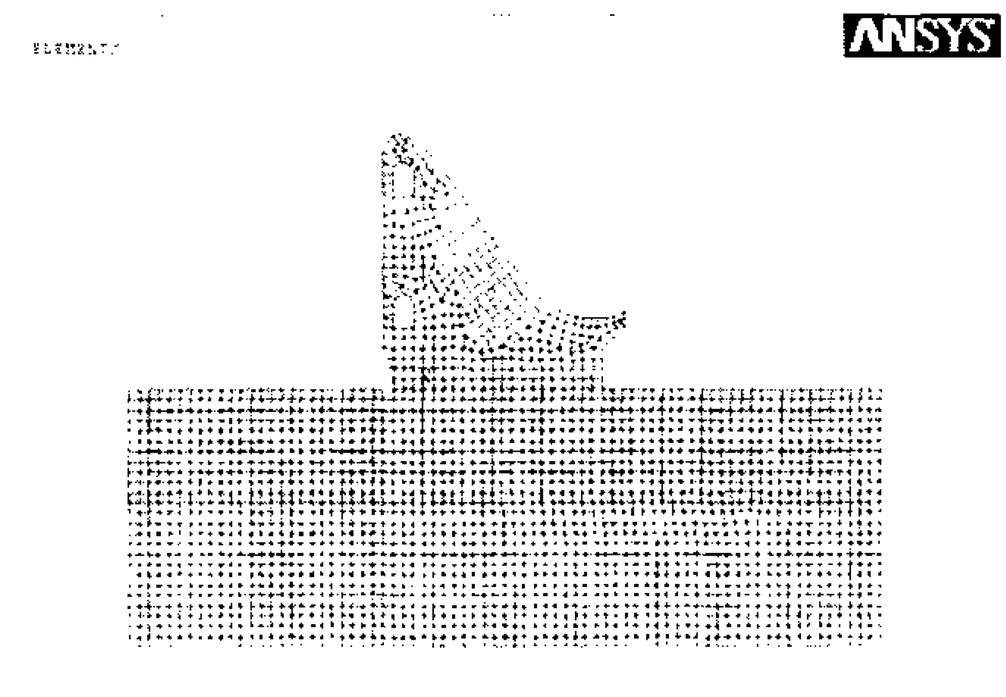
- *Hiển thị mã đường chu vi đập, lành lang đập*: Ta thực hiện như sau: Plot > Lines > PlotCtrls > Numbering > ☑ On ở dòng LINE Line Number > OK > Ta có đường chu vi đập, hành lang.

- *Chọn kích thước phần tử*: Từ Preprocessor > Meshing > Size Contrls > ManualSize > All Areas > Xuất hiện bảng Element Sizes on All Selected Areas như ở hình 4.101 > Nhập chiều dài cạnh phần tử 2m > OK.



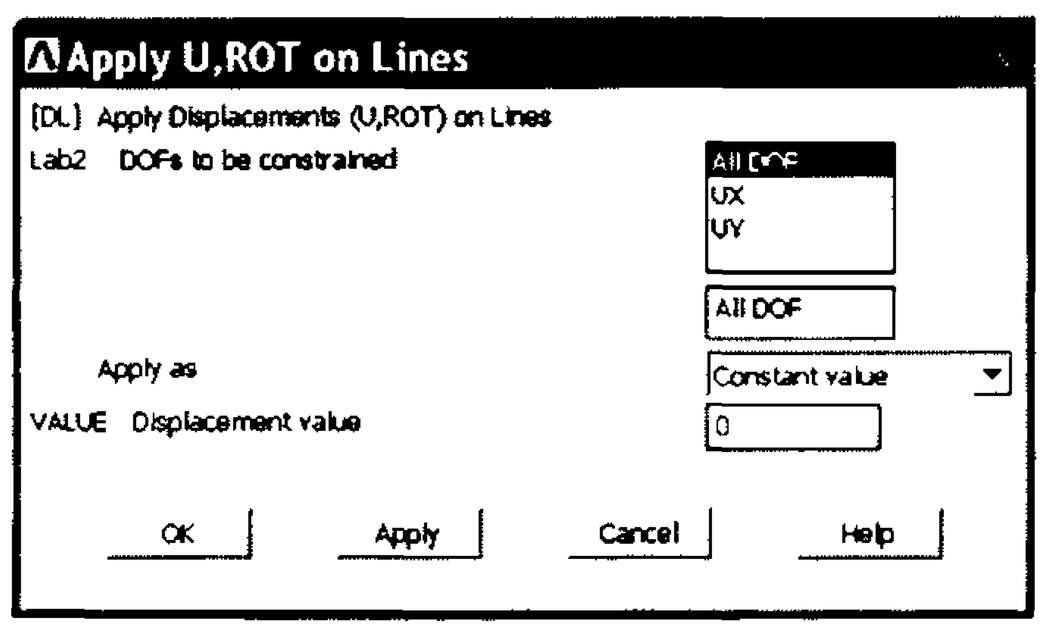
Hình 4.101. *Nhập chiều dài cạnh phần tử*

- *Chia lưới phần tử đập*: Từ Preprocessor > Meshing > Mesh > Area > Free > Pick All, ta có mô hình phần tử hữu hạn đập như ở hình 4.102.



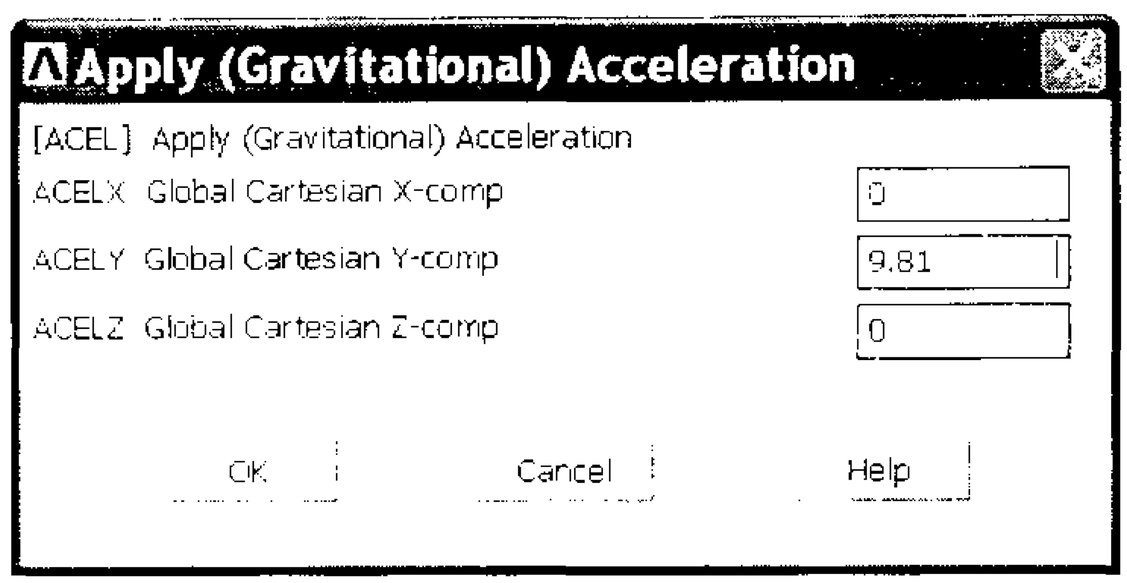
Hình 4.102. *Mạng lưới phần tử mô hình đập*

- *Gán ràng buộc chuyển vị ở đáy đập*: Từ Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Lines > Xuất hiện bảng Apply U, ROT on Lines > Chọn đường L1 > OK > Xuất hiện bảng Apply U, ROT on Lines > Chọn Constant Value, trong Displacement Value nhập giá trị 0 như ở hình 4.103 > OK.



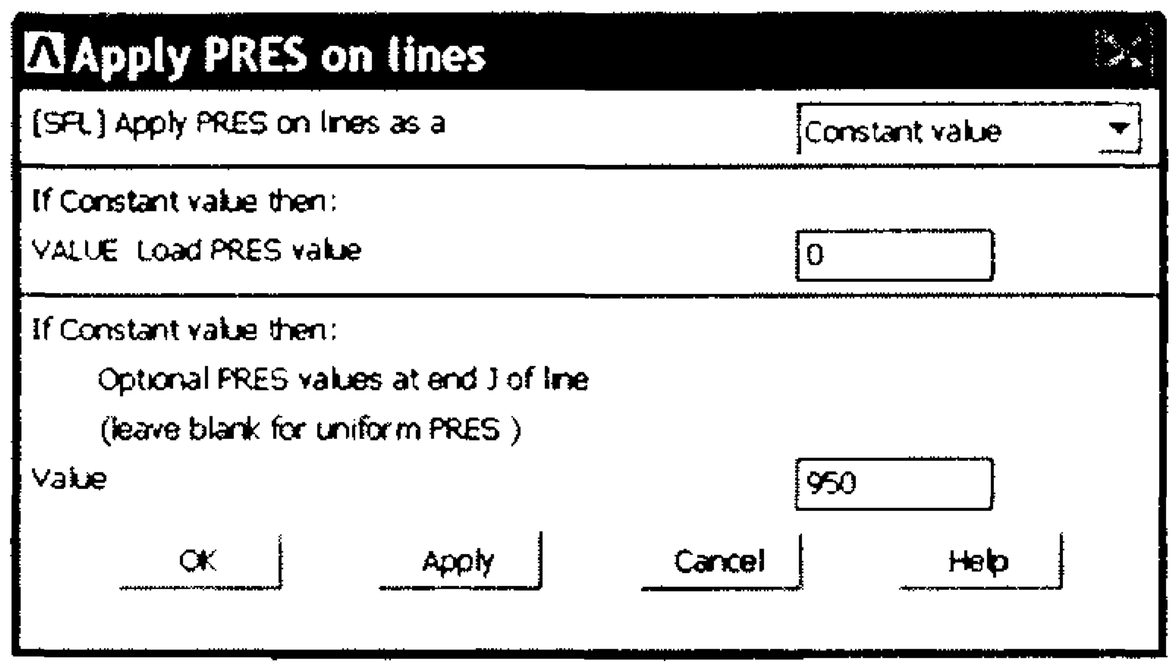
Hình 4.103. *Gán ràng buộc dưới đáy đập*

- *Gán gia tốc trọng trường*: Từ Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Inertia > Gravity > Global > Xuất hiện bảng Apply (Gravitational) Acceleration như ở hình 4.104, nhập 9.81 theo phương Y trong ACELY Global Acceleration-comp > OK.



Hình 4.104. *Nhập gia tốc trọng trường*

- *Gán áp lực nước*: Từ Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Lines > Global > Xuất hiện bảng Apply PRES on Lines > Xuất hiện bảng chọn Lines > Dùng chuột chọn đường L6 > OK > Xuất hiện bảng Apply PRES on Lines như ở hình 4.105 > Nhập 0 và 950 trong cửa sổ khai báo > OK.



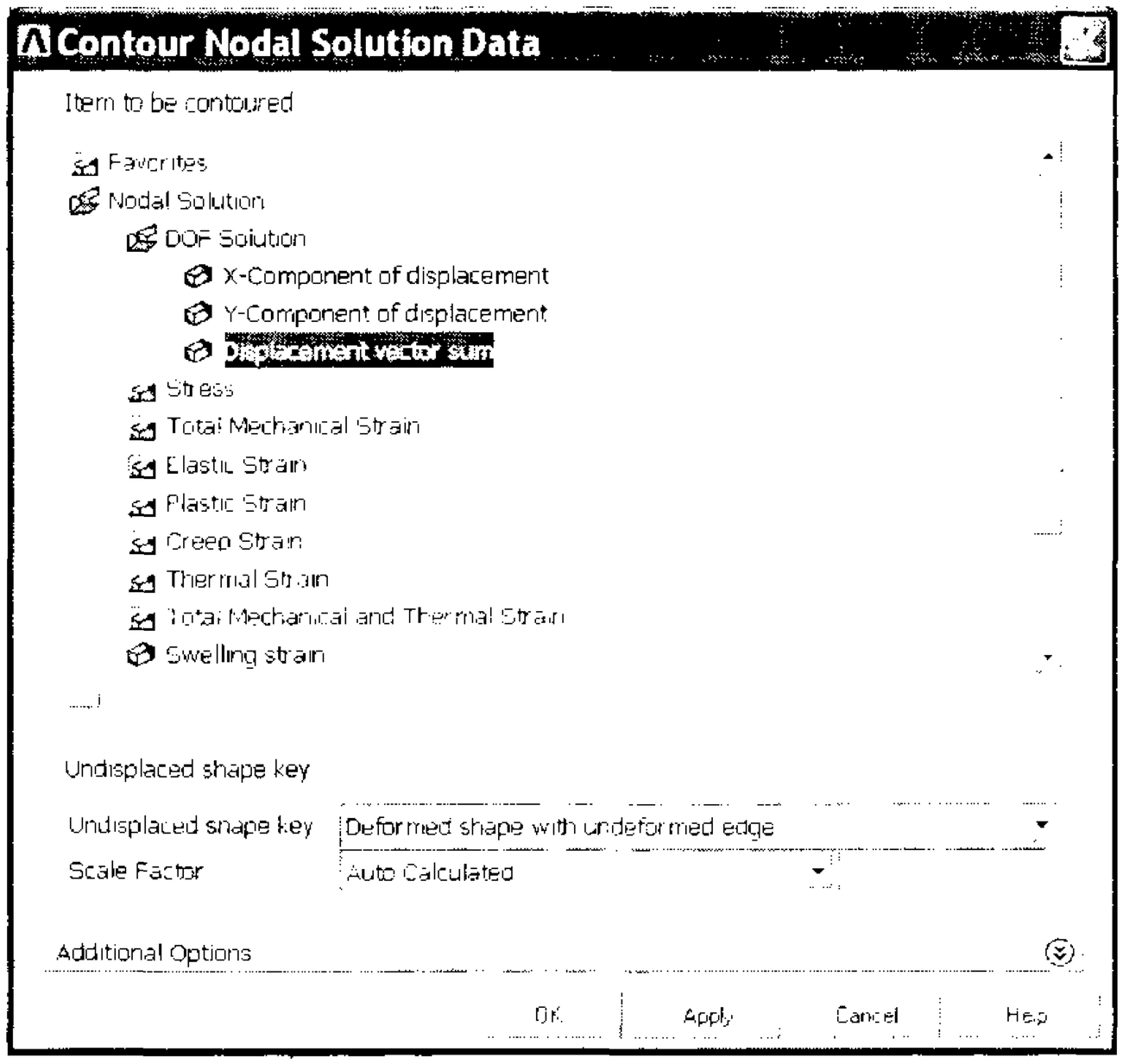
Hình 4.105. *Gán áp lực nước ở mặt thượng lưu đập*

- *Chọn kiểu phân tích*: Solution > Analysis Type > New Analysis > Xuất hiện bảng New Analysis > Chọn (•) Static > OK.

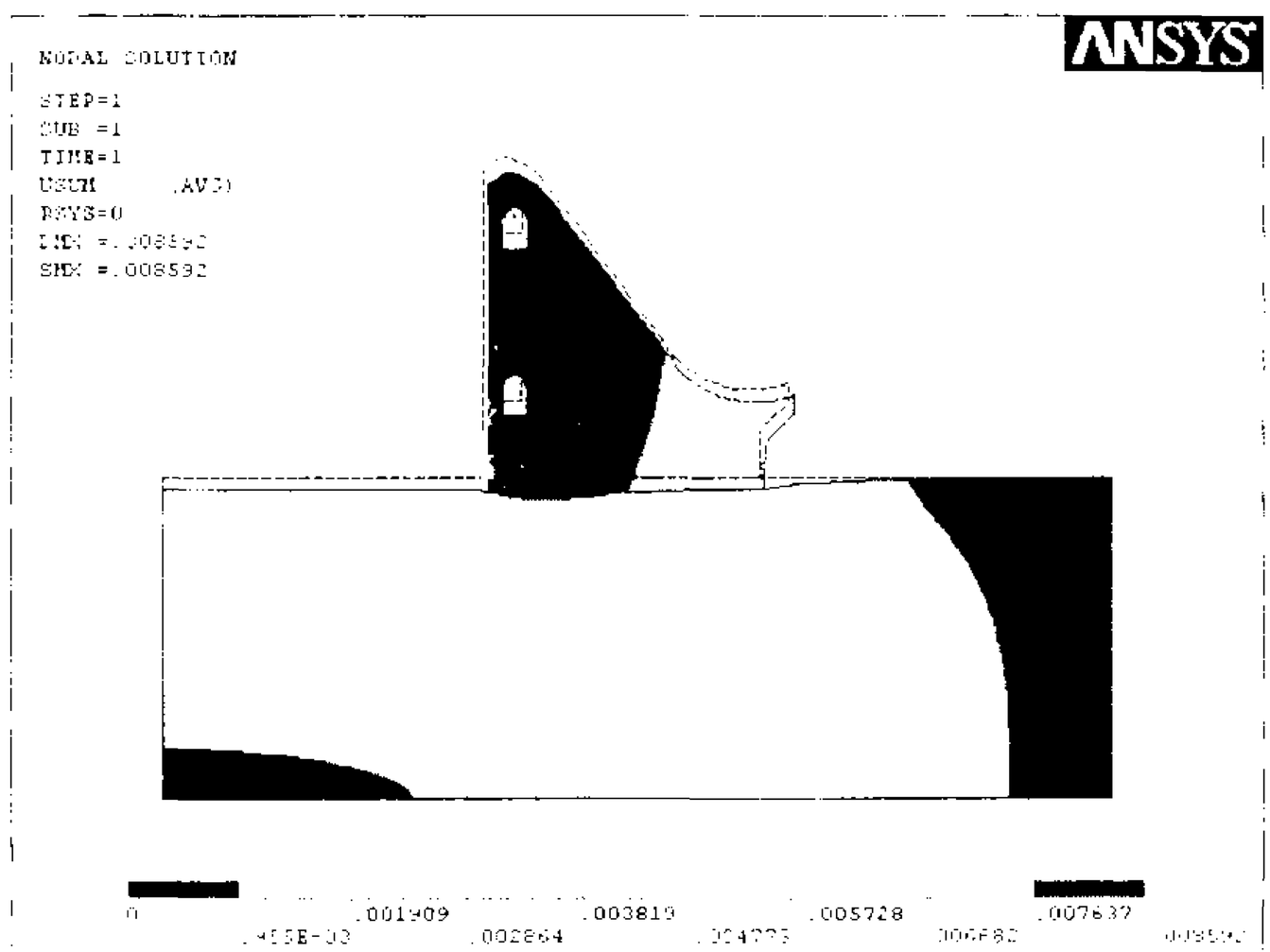
- *Chạy chương trình*: Từ Main Menu > Solution > Solve > Current LS > Xuất hiện bảng STATUS Command và bảng Solve current Load Step, thông báo tóm tắt các thông tin trước khi tính toán. Nhấn OK để bắt đầu tính toán đến khi xuất hiện thông báo Solution is done cho biết việc tính toán đã hoàn thành > Close.

b) Khai thác kết quả tính toán

- *Chuyển vị của đập*: General Postproc > Contour Plot Results > Nodal Solution > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data như ở hình 4.106 > Nodal Solution > DOF Solution > Displacement vector sum > OK > Ta có phổ mầu chuyển vị của đập như ở hình 4.107, chuyển vị tổng cộng lớn nhất DMX = 0.008592m.



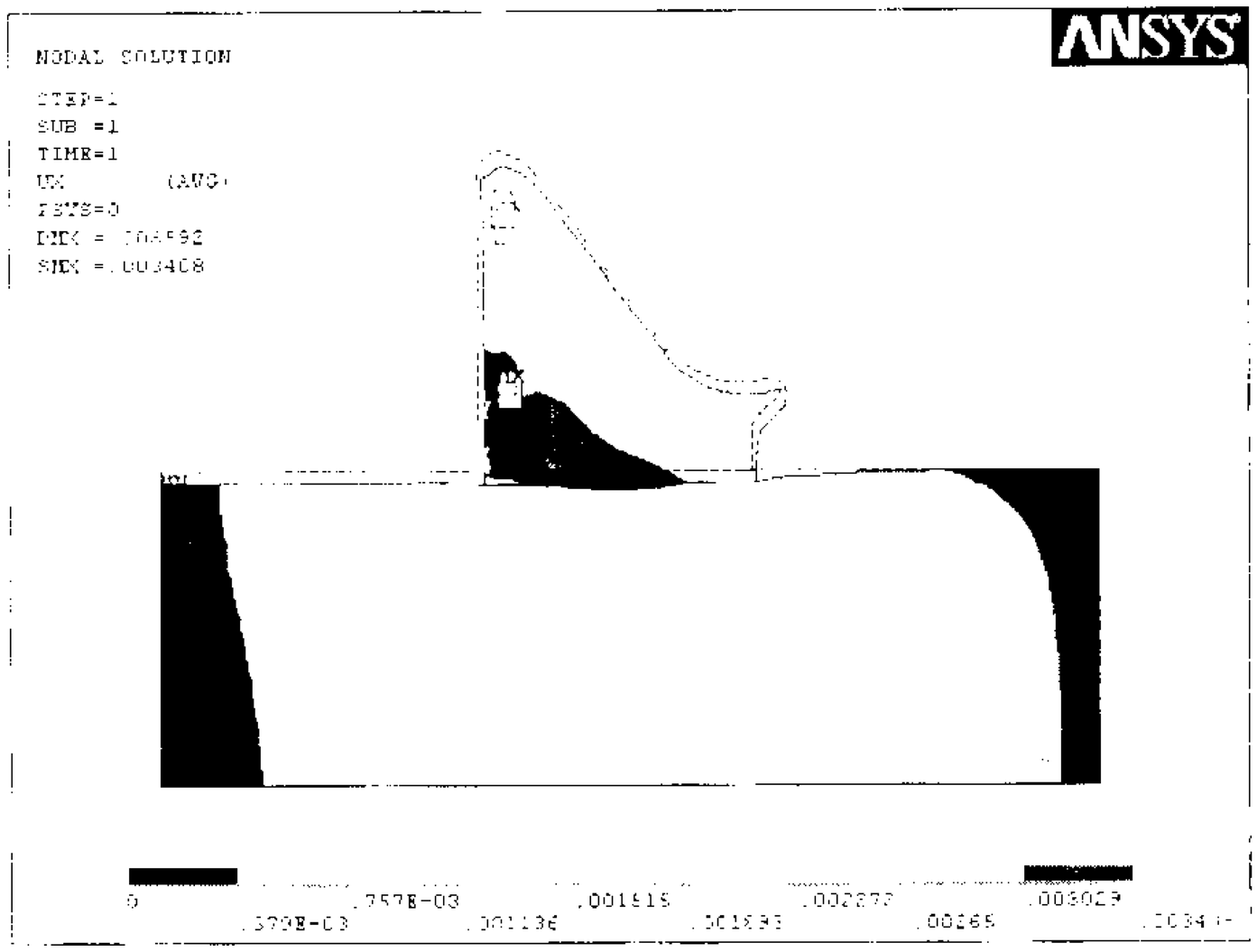
Hình 4.106. *Chọn hiển thị phổ mầu chuyển vị tổng cộng*



Hình 4.107. *Phổ mầu chuyển vị tổng cộng của đập*

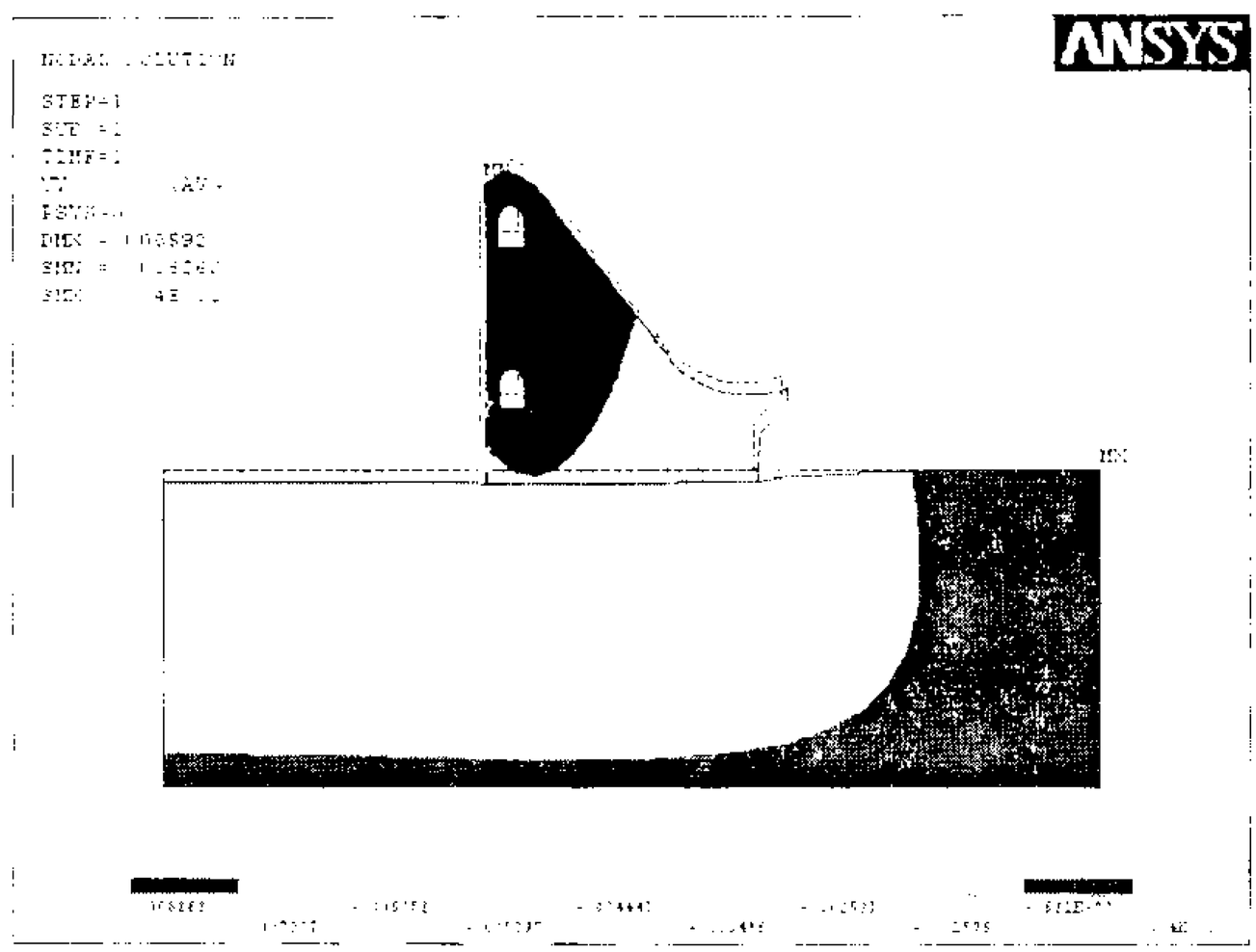
- *Hiển thị phổ chuyển vị của đập theo phương ngang Ux*: General Postproc > Contour Plot Results > Nodal Solution > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data > Nodal Solution > DOF Solution > X-Component of Displacement > OK > Ta có phổ

mầu chuyển vị theo phương X như ở hình 4.108, chuyển vị ngang lớn nhất SMX = 0.003408m.



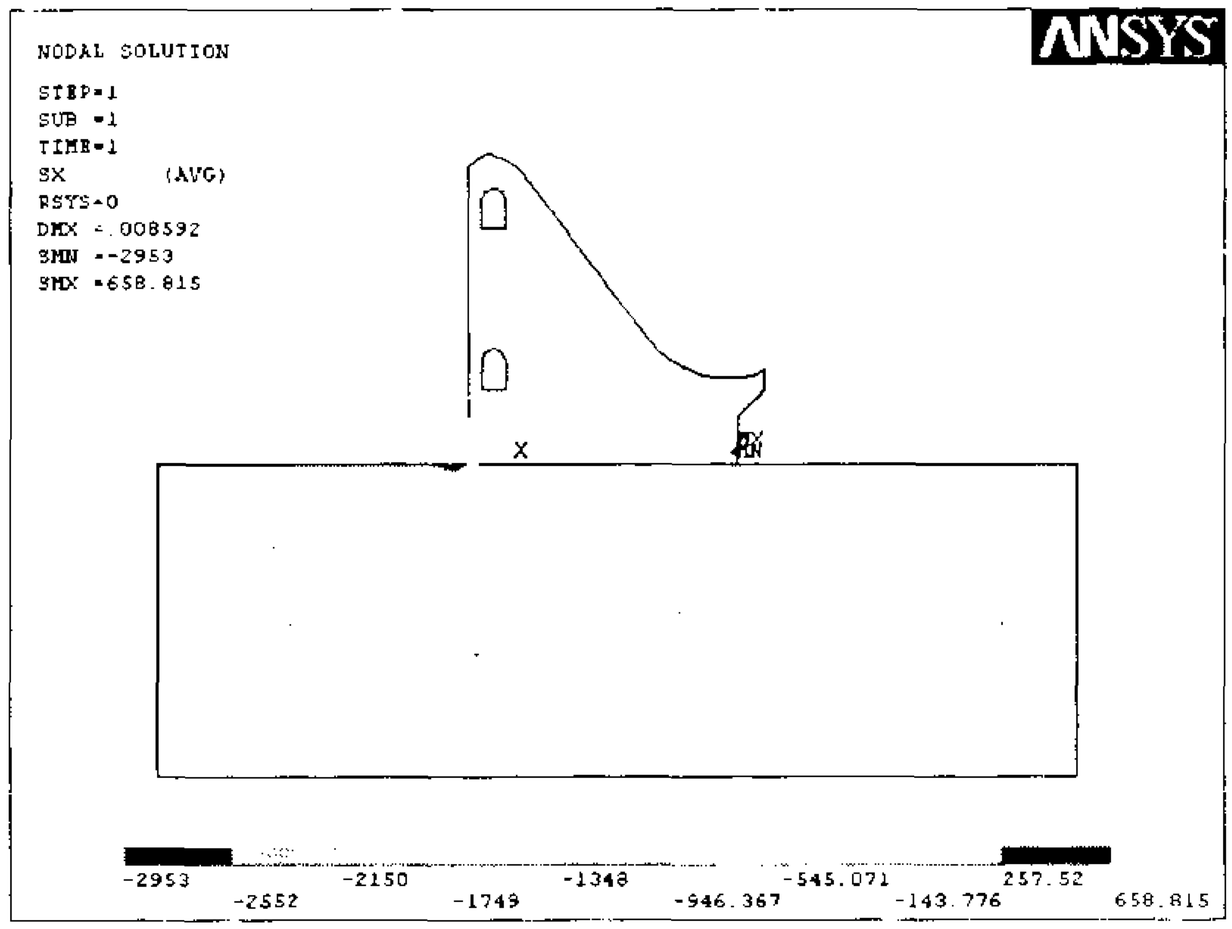
Hình 4.108. *Phổ mầu chuyển vị Ux của đập*

- *Hiển thị phổ chuyển vị Uy của đập:* General Postproc > Contour Plot Results > Nodal Solution > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data > Nodal Solution > DOF Solution > Y-Component of Displacement > OK > Ta có phổ mầu chuyển vị theo phương Y như ở 4.109. Chuyển vị đứng lớn nhất SMX = 0.000334m.



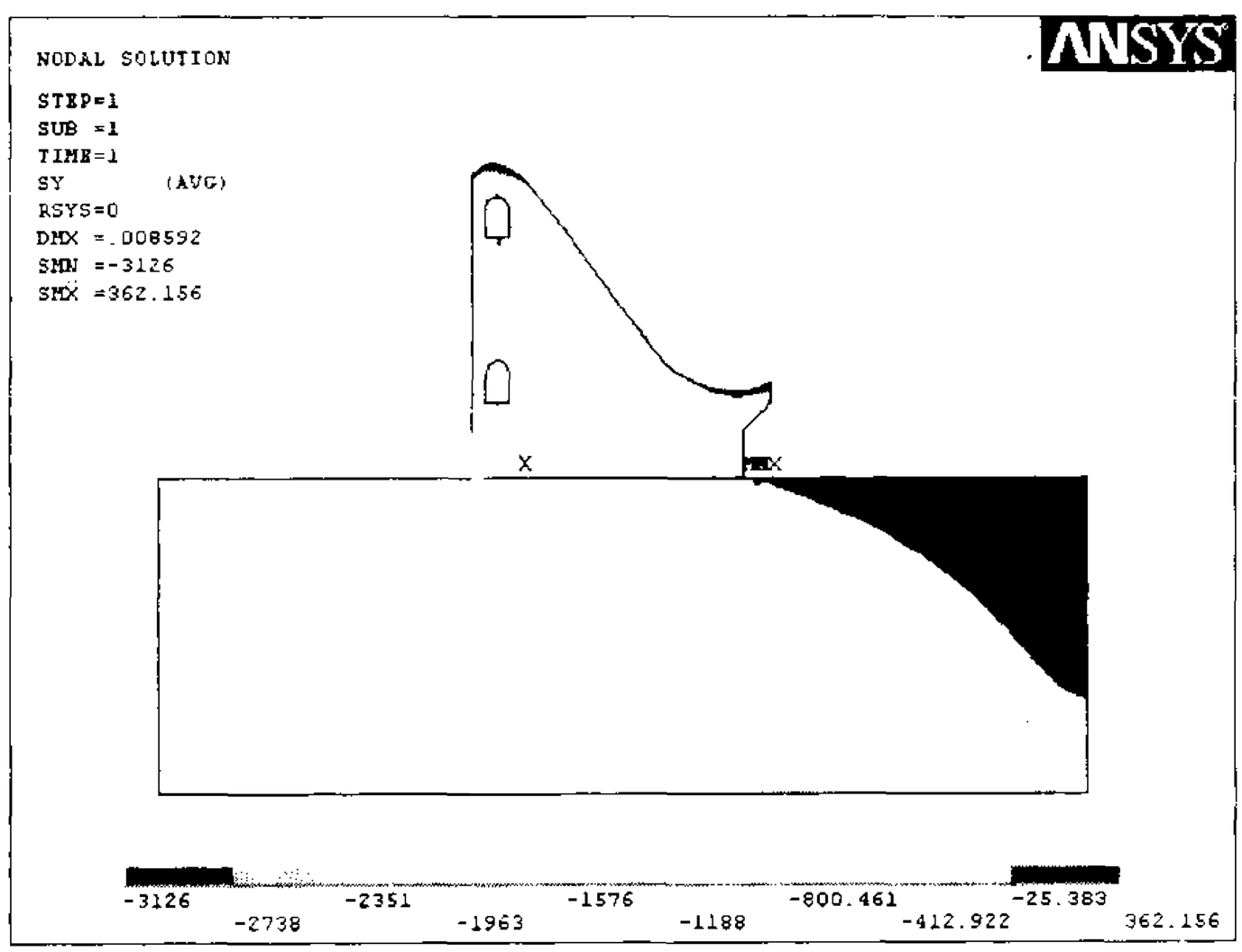
Hình 4.109. *Phổ mầu chuyển vị Uy của đập*

- *Hiển thị phổ ứng suất của đập theo phương ngang X*: General Postproc > Plot Result > Contour Plot > Nodal Solu > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data > Nodal Solution > Stress > X-Component of Stress > OK > Ta có phổ mầu ứng suất SX như ở hình 4.110.

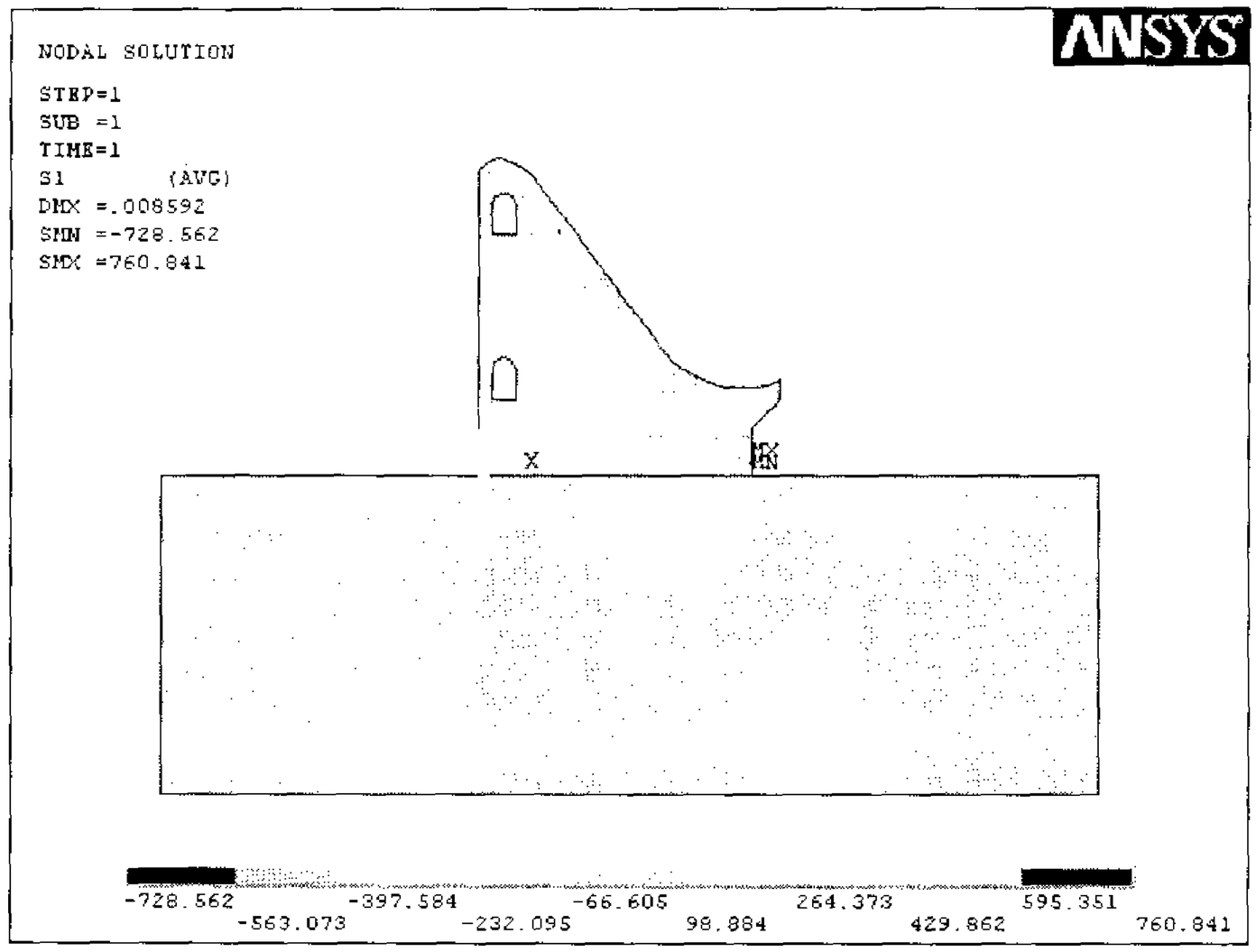


Hình 4.110. *Phổ mầu ứng suất SX của đập*

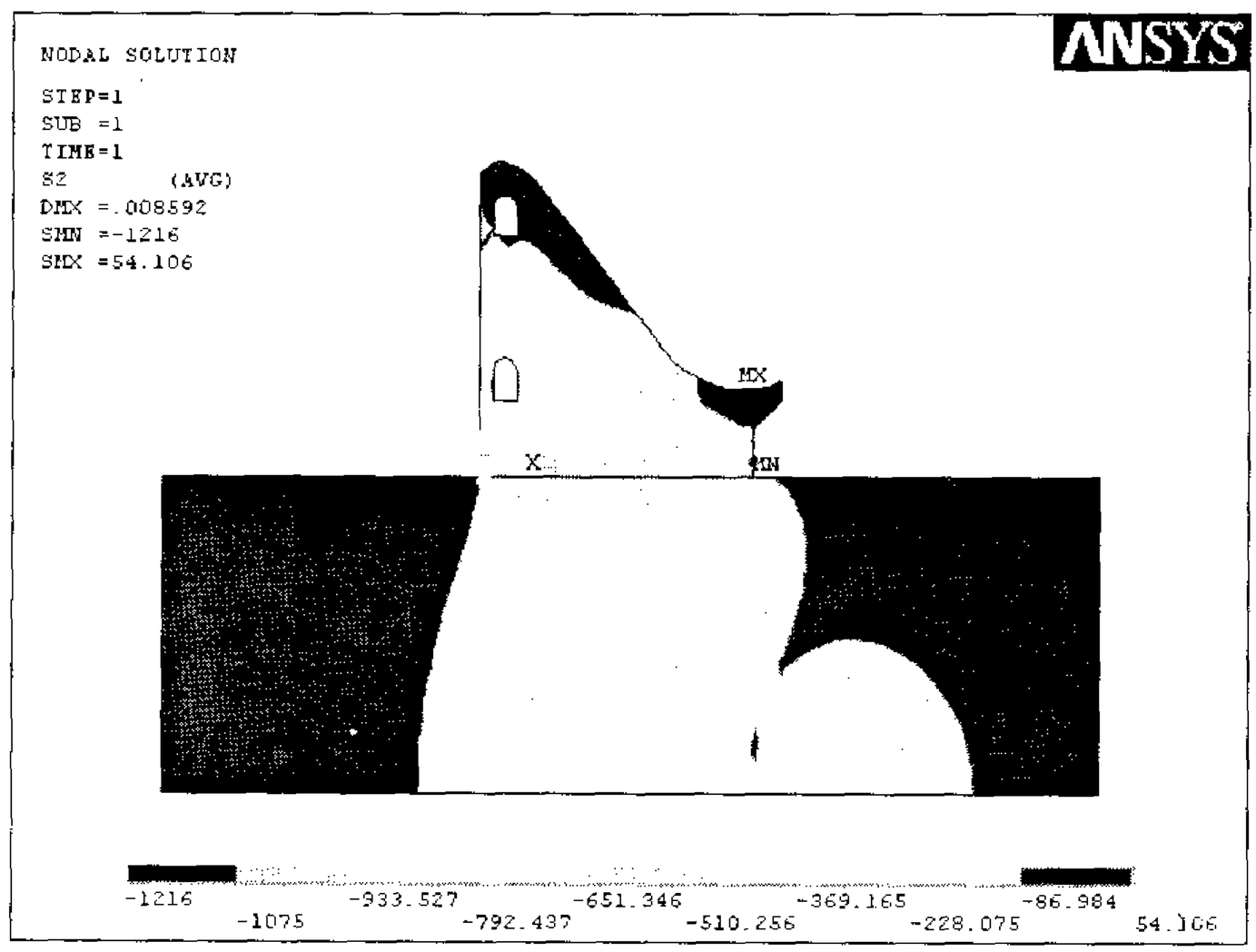
- *Hiển thị phổ ứng suất của đập theo phương đứng Y*: General Postproc > Plot Result > Contour Plot > Nodal Solu > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data > Nodal Solution > Stress > Y-Component of Stress > OK > Phổ mầu ứng suất SY như ở hình 4.111.



Hình 4.111. *Phổ mầu ứng suất SY của đập*



Hình 4.112. *Phổ mầu ứng suất chính S1 của đập*



Hình 4.113. *Phổ mầu ứng suất chính S2 của đập*

- *Chuyển vị tại các nút của đập*: General Postprocessor > List Results > Nodal Solution > Xuất hiện bảng List Nodal Solution > Nhấn DOF Solution > Chọn Displacement Vector USUM > OK > Xuất hiện bảng kết quả tính toán giá trị chuyển vị tại các nút của đập cho ở bảng 4.21. Từ bảng này cho thấy chuyển vị tổng cộng lớn nhất ở đỉnh dập tại nút 186 có USUM = 0.0056848m.

Bảng 4.21. Chuyển vị tại một số nút của đập

```
PRNSOL  Command
File

  ***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

  LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
   TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0

  THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL
COORDINATE SYSTEM

    NODE       UX            UY            UZ            USUM
     186   0.53490E-02-0.19248E-02  0.0000      0.56848E-02
     187   0.51752E-02-0.18860E-02  0.0000      0.55082E-02
     188   0.51965E-02-0.18959E-02  0.0000      0.55316E-02
     189   0.52172E-02-0.19027E-02  0.0000      0.55533E-02
     190   0.52366E-02-0.19082E-02  0.0000      0.55734E-02

    3035   0.18043E-02-0.10472E-02  0.0000      0.20862E-02
    3036   0.21849E-02-0.11005E-02  0.0000      0.24464E-02
    3037   0.20183E-02-0.11373E-02  0.0000      0.23167E-02
    3038   0.23346E-02-0.11404E-02  0.0000      0.25983E-02

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES
NODE         186          156           0          186
VALUE    0.53490E-02-0.19952E-02  0.0000      0.56848E-02
```

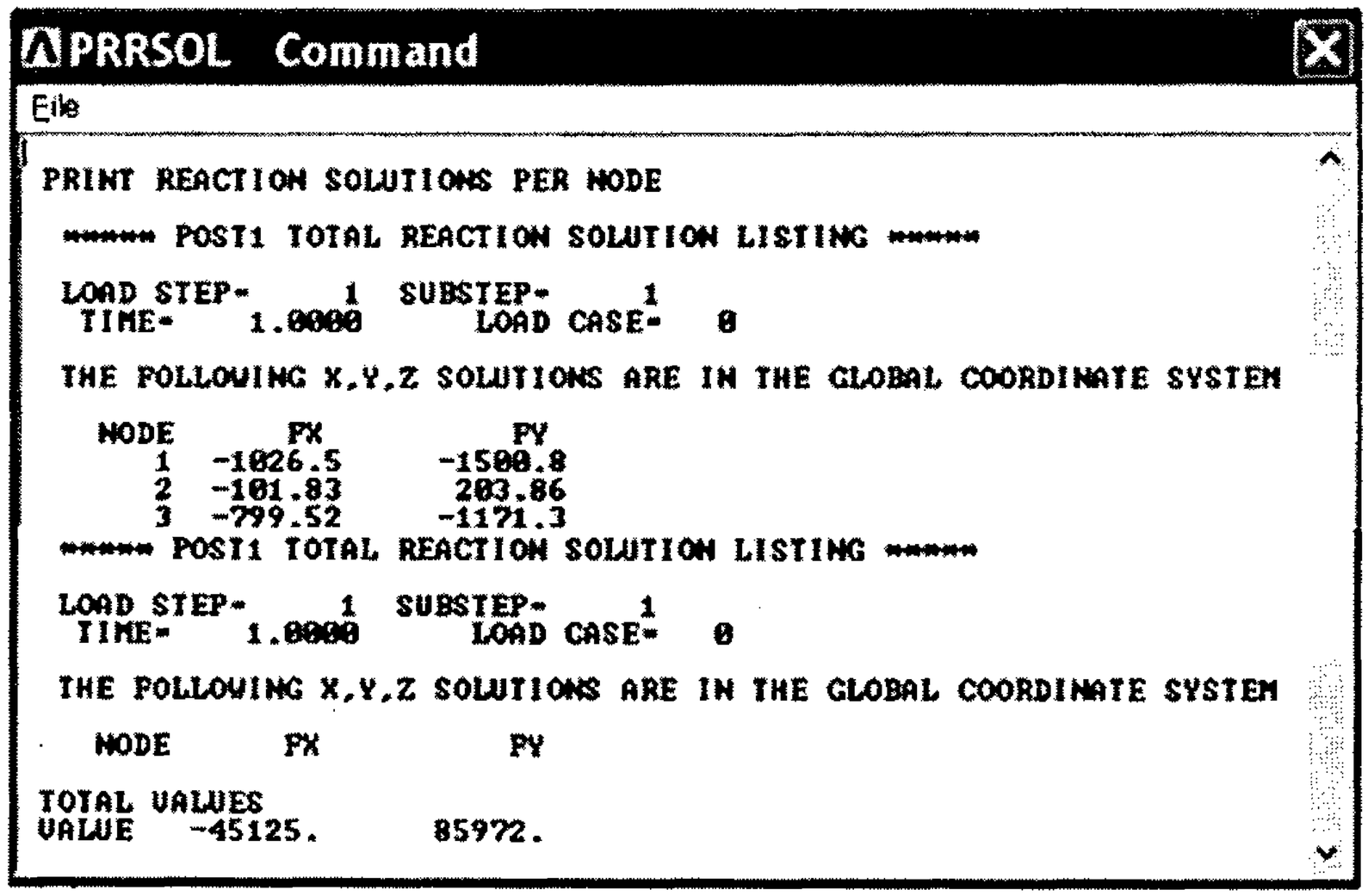
- *Ứng suất tại các nút của đập*: General Postprocessor > List Results > Nodal Solution > Xuất hiện bảng List Nodal Solution > Nhấn Nodal Solution > Stress > OK > Xuất hiện bảng PRNSOL Command kết quả tính toán các thành phần ứng suất tại các nút của đập cho ở bảng 4.22. Từ bảng này cho thấy ứng suất lớn nhất tại nút 1 có SX = 558.59, SY = 3056.3, SZ =7 22.98, SXY = 1948.1kN/m^2 .

Bảng 4.22. Ứng suất tại một số nút của đập

```
PRNSOL  Command
File

PRINT S    NODAL SOLUTION PER NODE

 ***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****
 PowerGraphics Is Currently Enabled

 LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
  TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0
 NODAL RESULTS ARE FOR MATERIAL   1

 THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

   NODE    SX          SY          SZ          SXY         SYZ         SXZ
      1   558.59      3056.3      722.98      1527.1      0.0000      0.0000
      2  -169.87     -662.13     -166.40      407.90      0.0000      0.0000

MINIMUM VALUES
NODE        324         324         324         326           1           1
VALUE   -3379.5     -3329.5     -1341.8     -400.30      0.0000      0.0000

MAXIMUM VALUES
NODE          1           1           1         324           1           1
VALUE    558.59      3056.3      722.98      1948.1      0.0000      0.0000
```

- *Phản lực liên kết*: General Postprocessor > List Results > Reaction Solution > Xuất hiện bảng List Reaction Solution > Chọn All Items > OK > Xuất hiện bảng PRRSOL Command cho kết quả tính toán các thành phần phản lực tại nền đập như ở bảng 4.23.

Bảng 4.23. Phản lực liên kết



PRRSOL Command

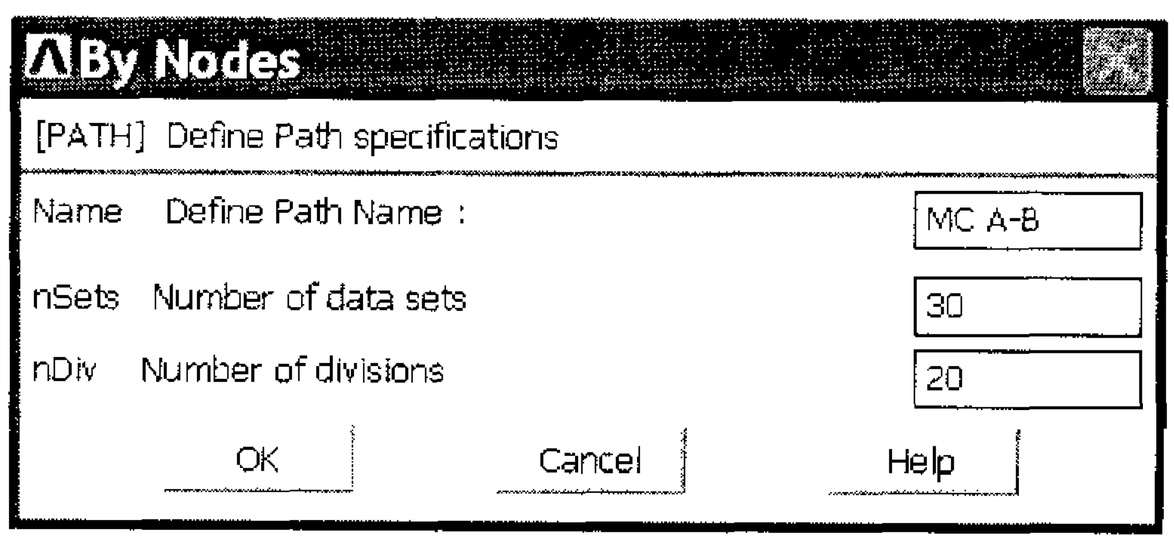
File

```
PRINT REACTION SOLUTIONS PER NODE

 ****** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING ******

 LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
  TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0

 THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

   NODE       FX          FY
      1   -1026.5     -1500.8
      2   -101.83      203.86
      3   -799.52     -1171.3
 ****** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING ******

 LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
  TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0

 THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

   NODE       FX          FY

 TOTAL VALUES
 VALUE    -45125.      85972.
```

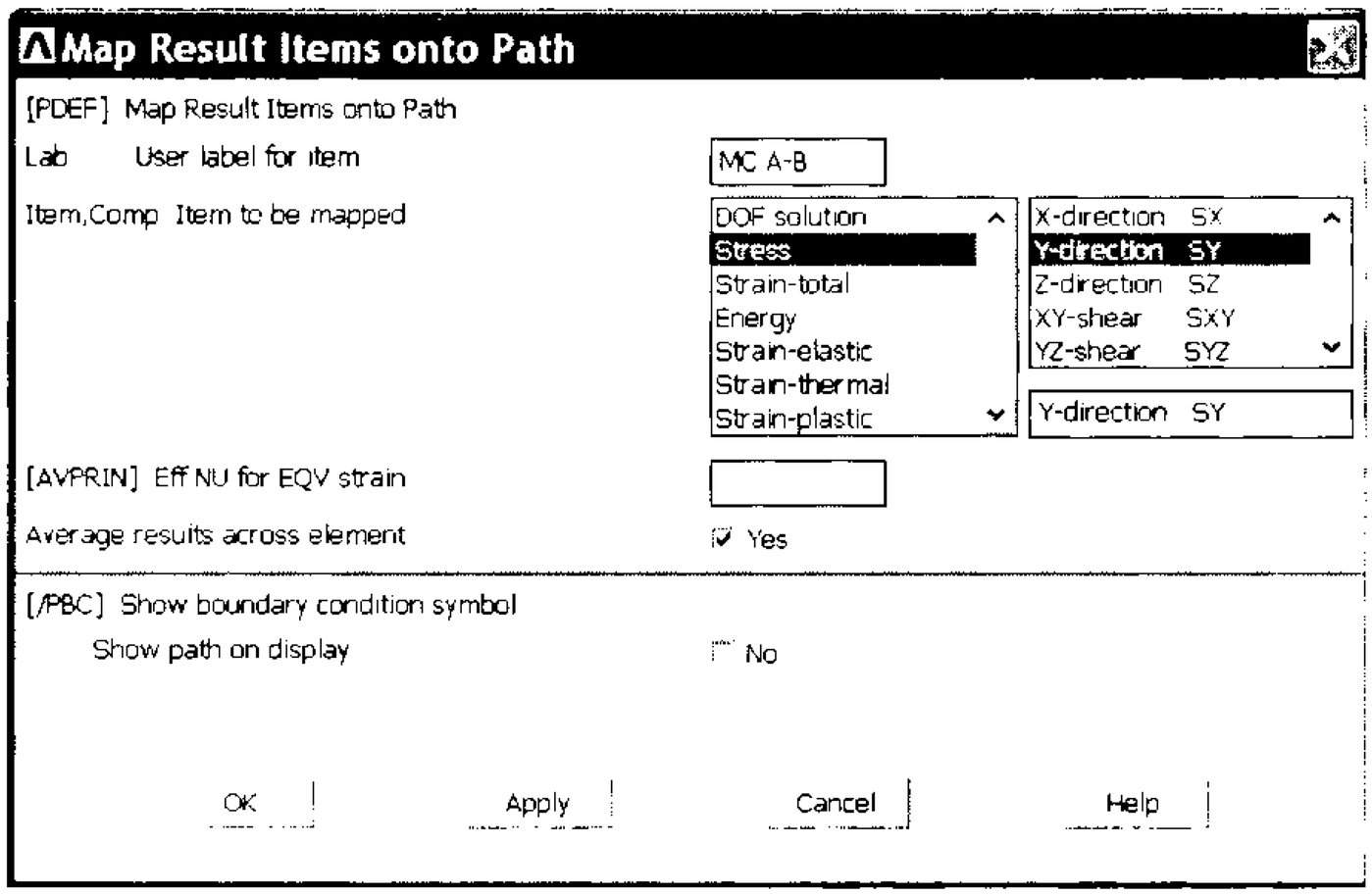
Từ bảng 4.23 cho biết tổng giá trị phản lực ngang ΣFX = -45125kN bằng tổng giá trị áp lực nước ngang $0.5\gamma H_n^2 B = 0.5\times10\times95^2\times1 = 45235$kN và tổng phản lực đứng ΣFY = 85972kN bằng tổng trọng lương bản thân đập:

$$G = 24\times[8\times10+0.5\times(8+72)\times90-8\times9-0.5\times42\times3.1416]\times1 = 85989 \cong 85972\text{kN}$$

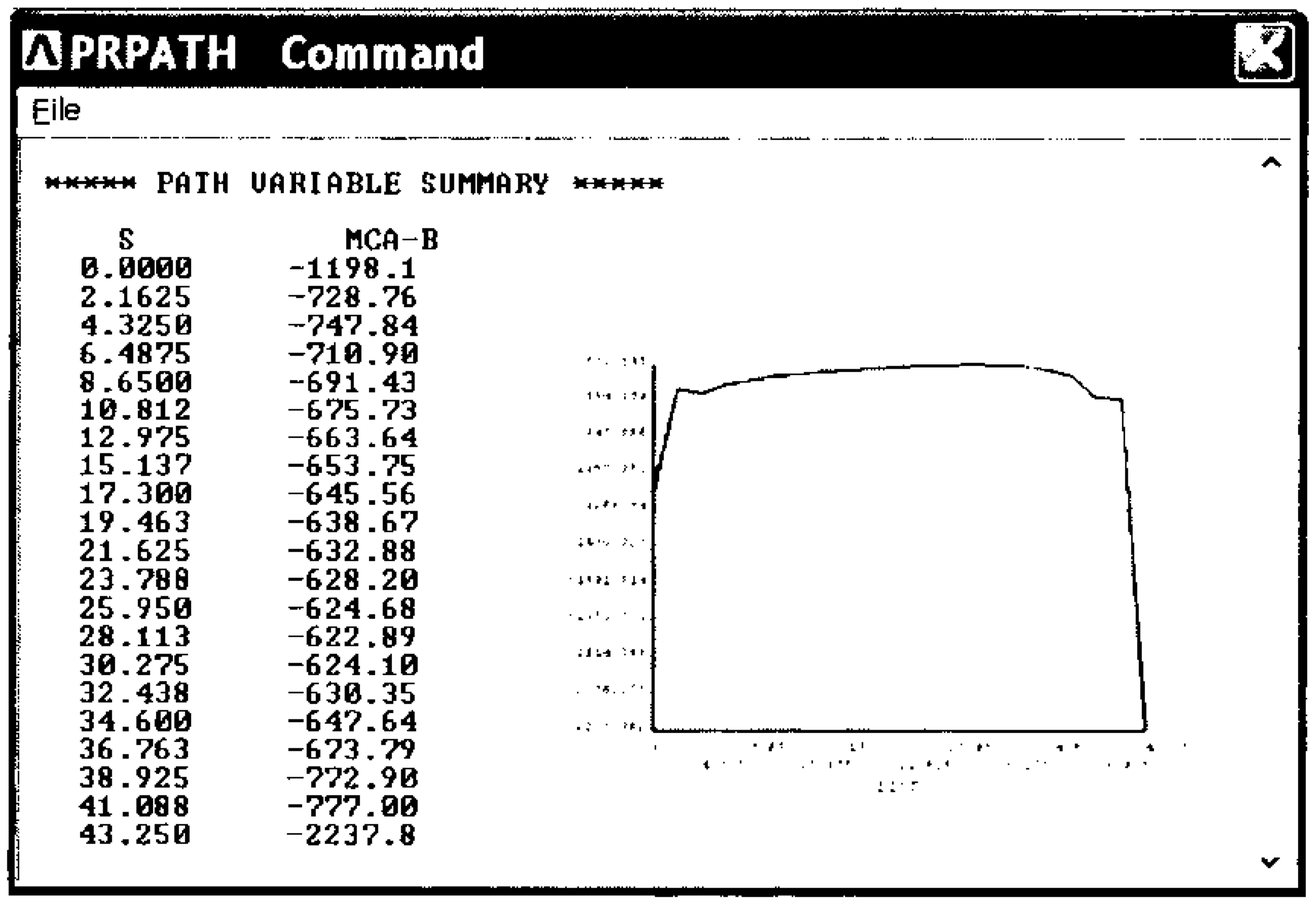
- *Ứng suất tại mặt tiếp giáp giữa đập và nền*: General Postprocessor > Path Operation > Define Path > By Nodes > Chọn nút đầu A và nút cuối B > OK > Xuất hiện bảng chia khoảng cách và thang lực như ở hình 4.114. Tiếp đến chọn Map onto Data > Plot Data Items, có đường biểu diễn ứng suất SY trên mặt cât MC A-B như ở hình 4.116.



Hình 4.114. *Định nghĩa tên mặt cắt*



Hình 4.115. Đối tượng xuất SY



Hình 4.116. Ứng suất SY tại đáy đập

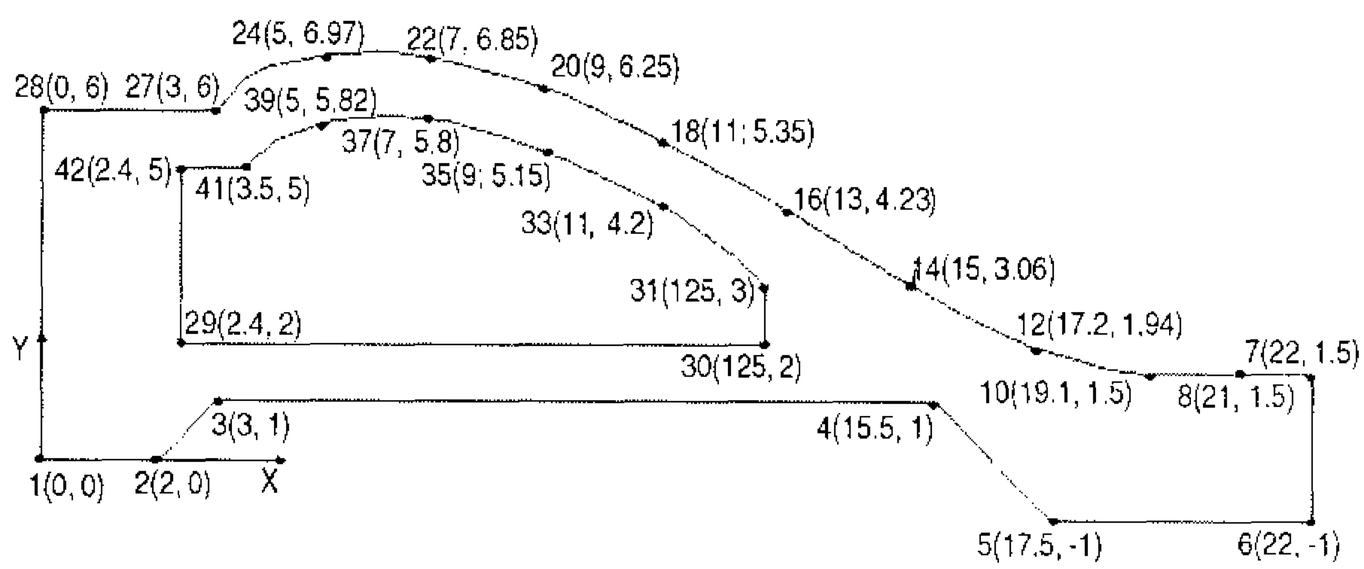
2. Phương thức COMMAND

```
/TITLE,Vi du 4.6 - Dap trong luc
/PREP7
ET,1,PLANE183
KEYOPT,1,3,2            !Bài toán biến dạng phẳng
MP,EX,1,2400
MP,PRXY,1,0.2
MP,DENS,1,2.446
K,1,0,0,0
K,2,72,0,0
```

```
K,3,8,90,0
K,4,8,100,0
K,5,0,100,0
K,6,95,0,0
/PNUM,KP,ON            !Hiển thị mã các điểm đặc trưng
A,1,2,3,4,5,           !Mặt được tạo từ các điểm 1, 2, 3, 4, 5
ESIZE,ALL,,,2          !Chọn kích thước phần tử
AMESH,ALL              !Chia lưới phần tử của đập
NSEL,S,LOC,Y,0         !Lựa chọn các điểm trên đường Y=0
D,ALL                  !Chọn ràng buộc chuyển vị
ALLSEL,ALL
ACEL,,9.81             !Gán gia tốc trọng trường
SFL,5,PRES,0,1200      !Gán áp lực nước
/SOLU
ANTYPE,STATIC          !Phân tích tĩnh tải
SOLVE                  !Tiến hành giải
FINISH
/POST1
PLDISP,1               !Vẽ biến dạng đập
PLNSOL,U,X             !Vẽ phổ chuyển vị đập theo phương X
PLNSOL,U,Y             !Vẽ phổ chuyển vị đập theo phương Y
PLNSOL,S,X             !Vẽ phổ ứng suất đập theo phương X
PLNSOL,S,Y             !Vẽ phổ ứng suất đập theo phương Y
PLNSOL,S,1             !Vẽ phổ ứng suất chính đập theo phương 1
FINISH
```

• Ví dụ 4.7: Đập tràn có cửa van

Xác định trạng thái ứng suất và chuyển vị của đập tràn có cửa van cung theo bài toán biến dạng phẳng, chịu áp lực nước với MNDBT+16.0 trong trường hợp cửa van bắt đầu rời khỏi ngưỡng, điểm tựa van tại đỉnh mặt tràn (điểm 24). Đập có kích thước mặt cắt ngang, tọa độ các điểm mặt tràn cho ở hình 4.117 và một số điểm bổ sung cho ở bảng 4.24. Thân đập bằng bê tông B25 có $E_b = 2{,}65\times10^7 kN/m^2$, $\gamma_b = 25kN/m^3$, $\gamma_b = 0{,}17$, lõi đập bằng bê tông B15 có $E_b = 2{,}1\times10^7 kN/m^2$, $\gamma_b = 24kN/m^3$, $\mu_b = 0{,}17$. Đập đặt trên nền đá cứng.



Hình 4.117. Mặt cắt ngang đập tràn

Bảng 4.24. Tọa độ các điểm trên mặt tràn

Điểm	9	11	13	15	17	19	21	23
x(m)	20.0	18.5	16.0	14.0	12.0	10.0	8.0	6.0
z(m)	1.5	1.6	2.5	3.64	4.82	5.82	6.59	7.0
Điểm	25	26	32	34	36	38	40	
x(m)	3.95	1.45	12.0	10.0	8.0	6.0	4.0	
z(m)	6.74	6.5	3.5	4.71	5.54	5.9	5.5	

1. Phương thức GUI

a) Xây dựng mô hình và giải bài toán

- *Đặt tên File bài toán*: Khởi động ANSYS, nhấn chuột vào biểu tượng > New Analysis > Analysis Jobname: Vi du 4.7 - Dap tran > OK. Đặt tên bài toán từ Menu File > Change Title > Xuất hiện bảng Change Title > Title: Vi du 4.7-Dap tran co cua van.

- *Giới hạn phạm vi hiển thị các chức năng*: Preferences > Xuất hiện bảng Preferences for GUI Filtering > ☑ Structural > OK.

- *Chọn loại phần tử (Element Type):* Chọn phần tử phẳng Plane183 có 8 điểm nút, mỗi nút có 2 thành phần chuyển vị là Ux và Uy. Từ menu Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Element Type > Add > Library of Element Types > Solid > 8nodes 183 > OK → Xuất hiện lại bảng Element Type và Plane183 đã được đưa vào danh sách > Nhấn Options > PLANE183 element type options > Element Behavior K3: Chọn Plane strain > OK.

- *Định nghĩa thuộc tính của vật liệu*: Chọn hệ đơn vị: kN, m. Preprocessor > Material Props > Material Model > Define Material Model Behavior > Nhấn Structural > Linear > Elastic > Isotropic > Linear Isotropic Properties for Material > Material Number 1: Bê tông B25 nhập EX=2.65×107; PRXY=0.17 > Density> Nhập DENS=2.548 (25/9.81=2.548) > OK > Material > New Materal > Define Materil 2: Bê tông B15 nhập EX=2.1×107; PRXY=0.17 > Density> Nhập DENS=2.446 (24/9.81=2.446) > OK.

- *Tạo các điểm (Keypoints)*: Để xây dựng mô hình hình học của đập ta tạo 42 điểm, từ điểm 1 đến điểm 28 tạo vỏ đập, từ điểm 29 đến điểm 42 tạo lõi đập.

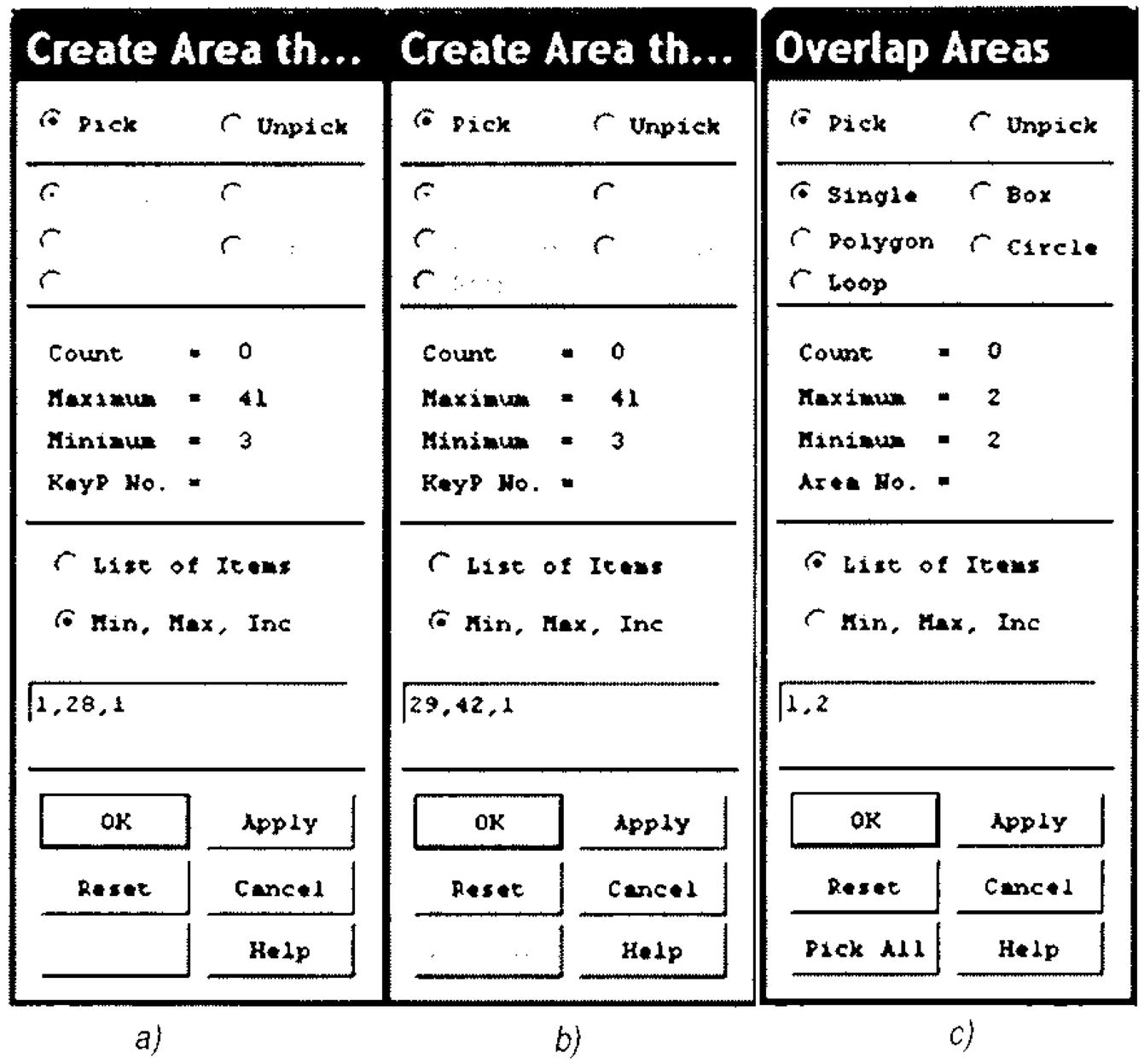
Từ menu Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS > Xuất hiện bảng Create Keypoints in Active Coordinate System:

Nhập điểm 1 với tọa độ X=0, Y=0, Z=0 > Apply,

. . .

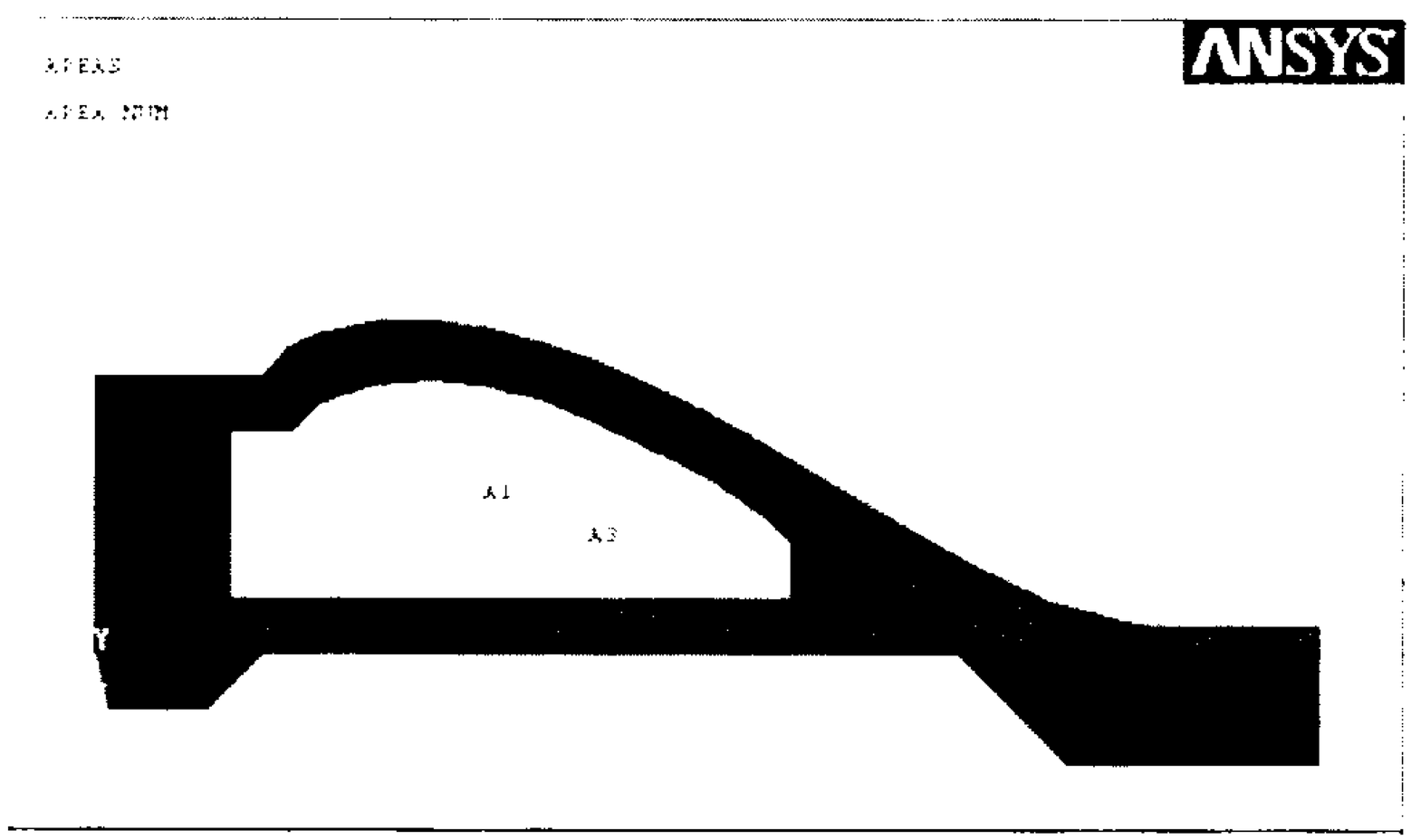
Nhập điểm 42 với tọa độ X=2.4, Y=5, Z 0 > OK.

- *Tạo mặt đập theo đường chu vi đập*: Từ Preprocessor > Modeling > Create > Areas > Arbitrary > Through KPs > Xuất hiện bảng Create Area through KPs > Chọn • Min, Max, Inc > Nhập 1, 28, 1 vào cửa sổ nhập lệnh ở bảng Create Area through KPs như ở hình 4.118a > Apply, ta có diện tích A1 như ở hình 4.119. Nhập 29, 42, 1 vào bảng Create Area through KPs như ở hình 4.118b > OK, ta có diện tích A2 như ở hình 4.119.



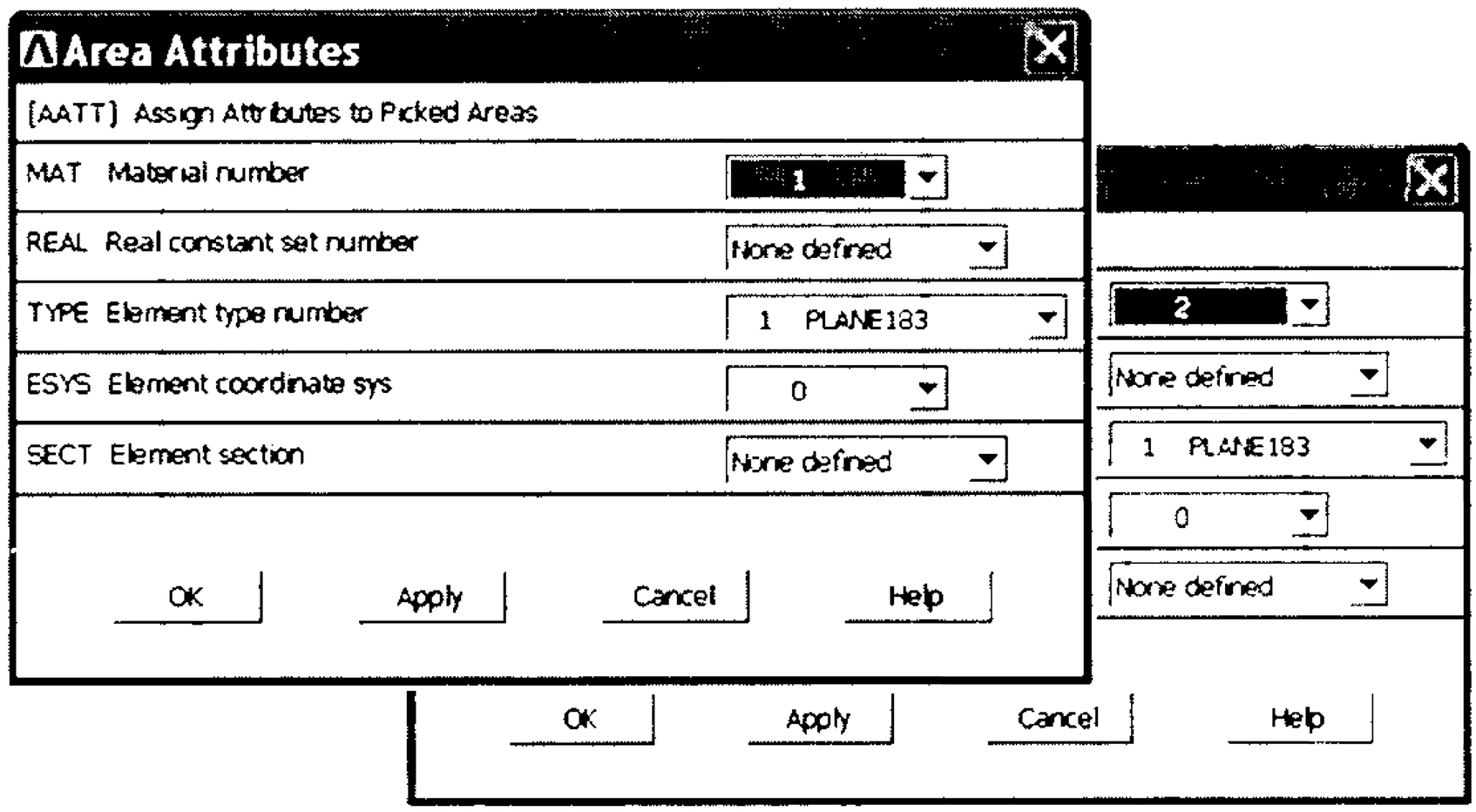
Hình 4.118. *Lệnh tạo diện tích A1, A2 và chồng A1, A2 mặt cắt đập*

Sau khi xác định được diện tích A1, A2 dùng phép chồng (Overlap) của phép toán Boole tạo mặt cắt ngang của thân đập và lõi đập tràn. Từ menu Preprocessor > Modeling > Operates > Overlap > Xuất hiện bảng Overlap Areas như ở hình 4.118c > Nhấn chuột chọn mặt A1 và A2 > OK, ta có mặt cắt ngang đập tương tự như ở hình 4.119.



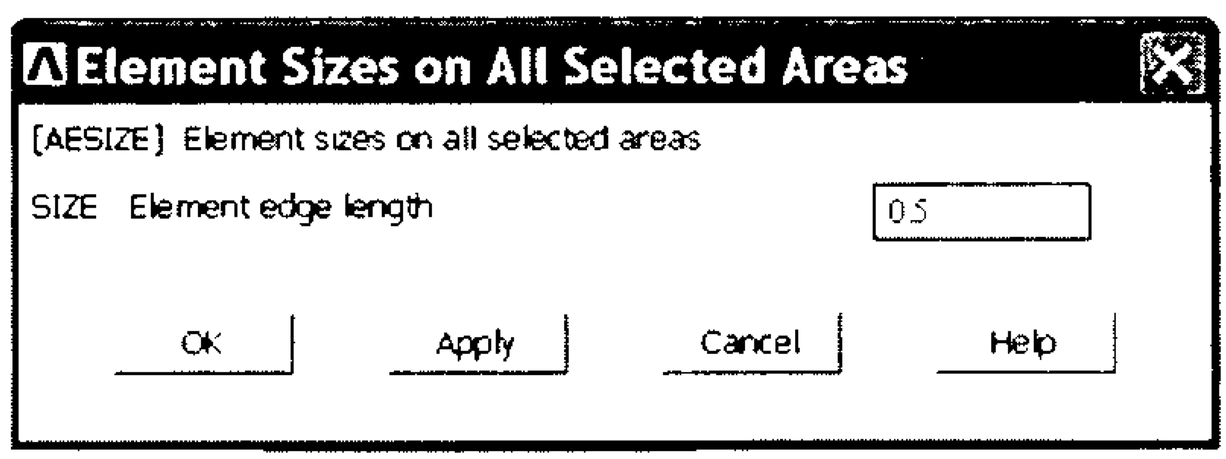
Hình 4.119. *Mặt cắt ngang đập tràn*

- *Gán thuộc tính vật liệu*: Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > Picked Area > Nhấn chuột vào thân đập A1 > Apply > Xuất hiện bảng Area Attributes > Chọn MAT: 1 như ở hình 4.120 > Apply > Tiếp tục nhấn chuột vào lõi đập A3 > OK > Xuất hiện bảng Area Attributes > Chọn MAT: 2 > OK.



Hình 4.120. *Lệnh gán thuộc tính vật liệu vào mô hình*

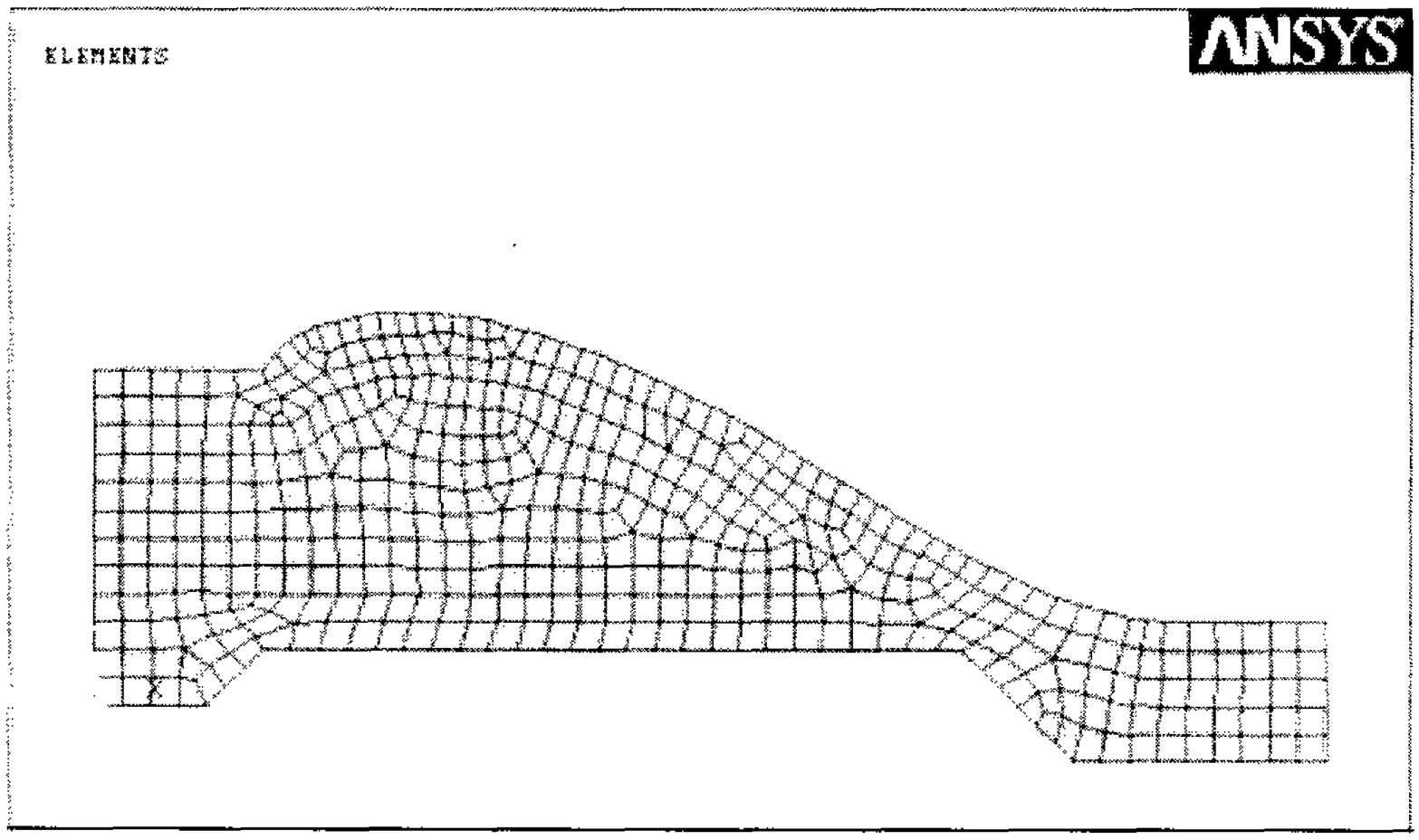
- *Chia mạng lưới phần tử*: Chọn kích thước phần tử: Từ Preprocessor > Meshing > Size Contrls > Manual Size > All Areas > Xuất hiện bảng Element Sizes on All Selected Areas như ở hình 4.121 > Nhập chiều dài cạnh phần tử 0.5m > OK.



Hình 4.121. *Nhập chiều dài cạnh phần tử*

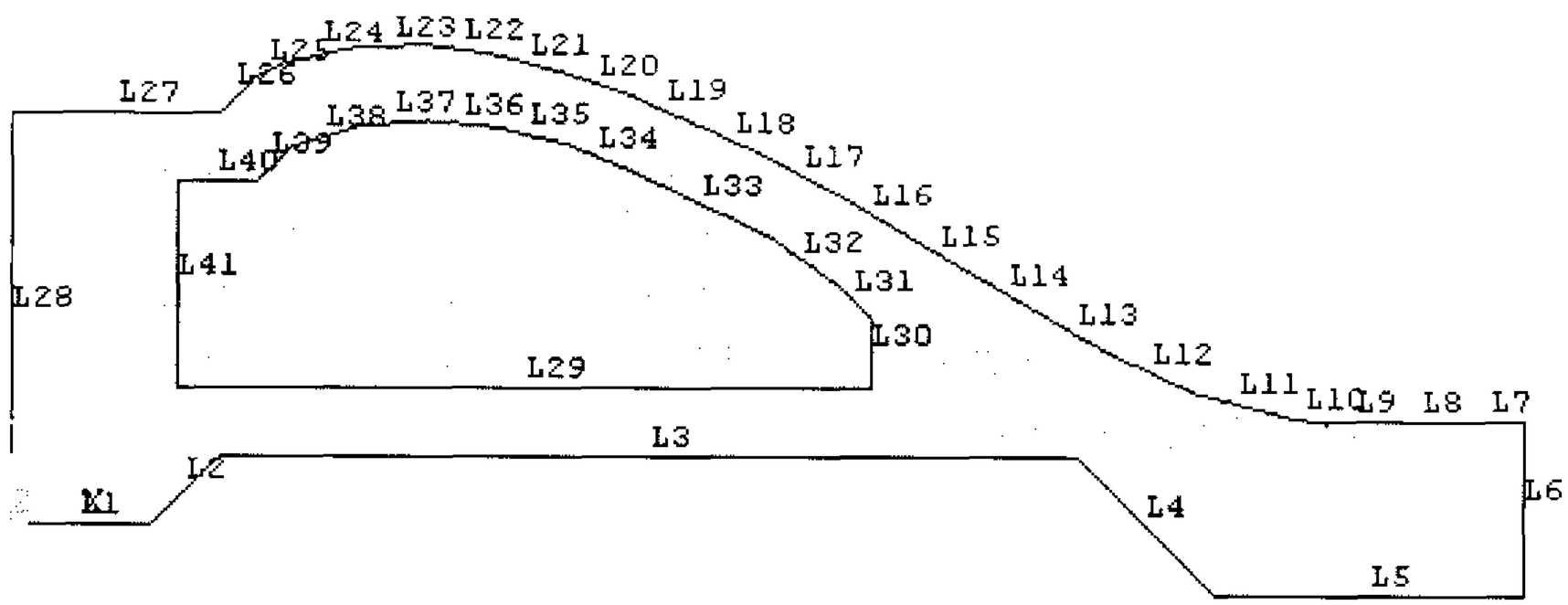
- *Chia lưới phần tử đập*: Từ Preprocessor > Meshing > Mesh > Area > Free > Pick All, ta có mô hình phần tử hữu hạn đập như ở hình 4.122.

- *Gán ràng buộc chuyển vị ở đáy đập*: Từ Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Lines > Xuất hiện bảng Apply U, ROT on Lines > Chọn các đường đáy đập (L1, L2, L3, L4 và L5, xem hình 4.123) > OK > Xuất hiện bảng Apply U, ROT on Lines > Chọn Constant Value, trong Displacement Value nhập giá trị 0 > OK.



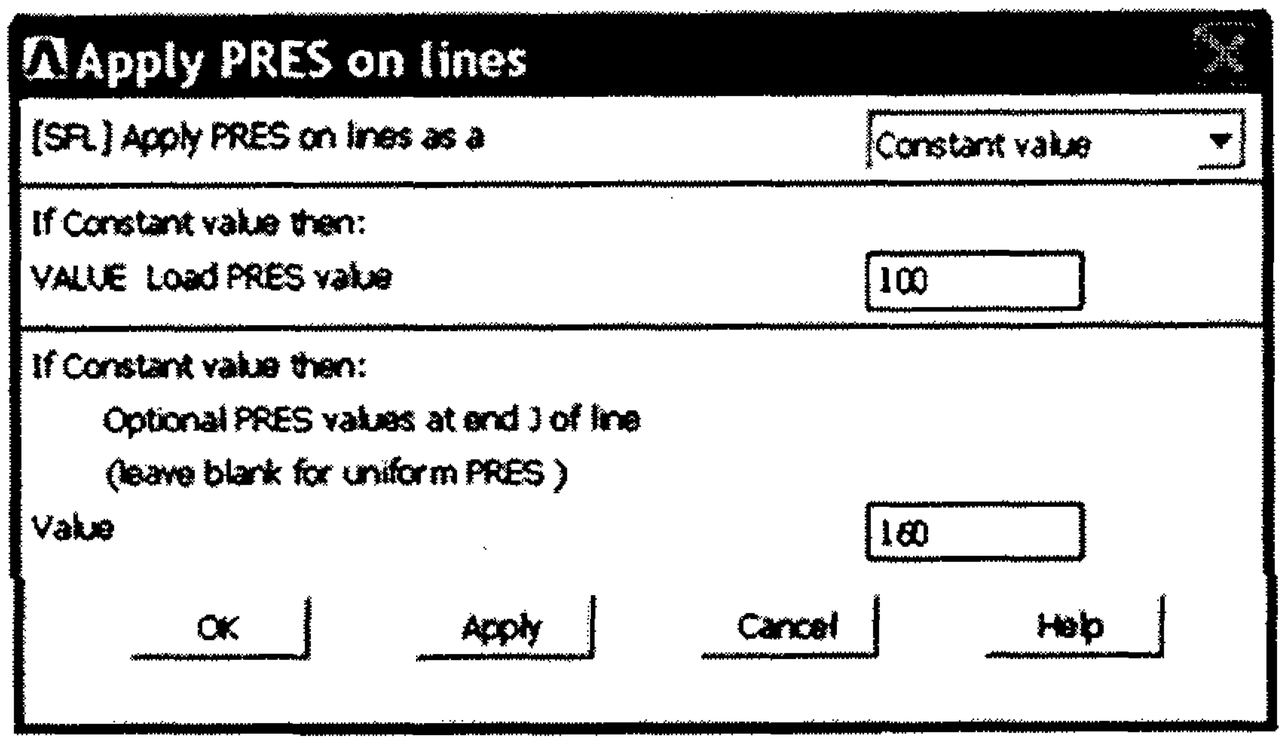
Hình 4.122. *Mạng lưới phần tử mô hình đập tràn*

- *Gán áp lực nước*: Từ Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Lines > Global > Xuất hiện bảng Apply PRES on Lines > Xuất hiện bảng chọn Lines > Dùng chuột chọn đường L28 (xem hình 4.123) > Apply > Xuất hiện bảng Apply PRES on Lines như ở hình 4.124 > Nhập 100 và 160 trong cửa sổ khai báo > Apply. Chọn tiếp đường L27, nhập áp lực nước phân bố đều có cường độ 100 > Apply. Chọn đường L24, L25, L26 (ở phía trước vị trí cửa van cung khi đóng) với áp lực nước giả thiết phân bố đều bằng 95 > OK.

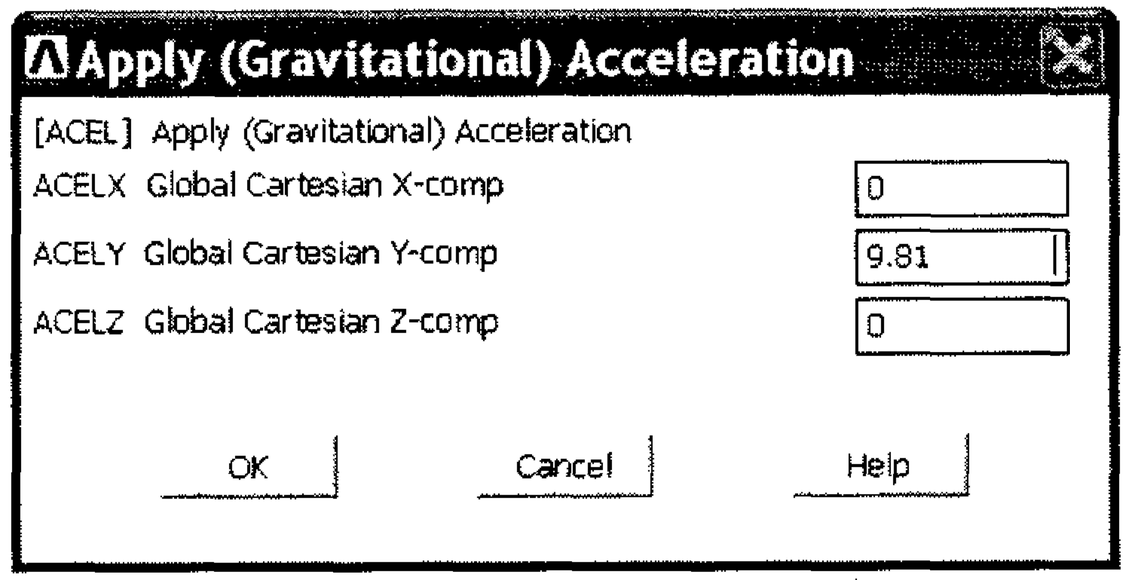


Hình 4.123. *Mã các đường chu vi đập và lõi đập*

- *Gán gia tốc trọng trường*: Từ Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Inertia > Gravity > Global > Xuất hiện bảng Apply (Gravitational) Acceleration như ở hình 4.125, nhập 9.81 theo phương Y trong ACELY Global Cartesian Y-comp > OK.



Hình 4.124. Gán áp lực nước ở mặt thượng lưu đập



Hình 4.125. Nhập gia tốc trọng trường

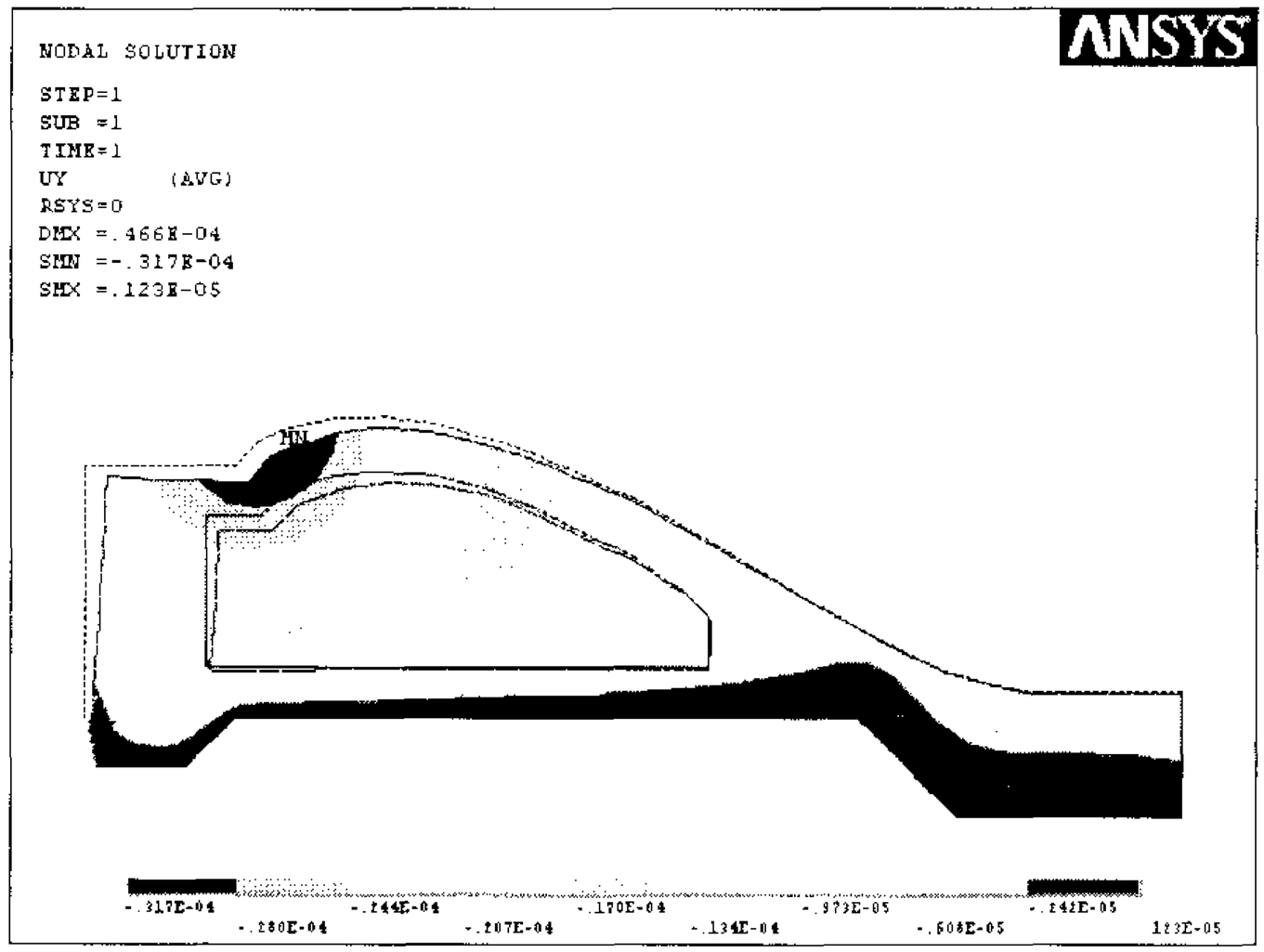
- *Chọn kiểu phân tích*: Solution > Analysis Type > New Analysis > Xuất hiện bản New Analysis > Chọn ⊙ Static > OK.

- *Chạy chương trình*: Từ Main Menu > Solution > Solve > Current LS > Xuất hiện bảng STATUS Command và bảng Solve Current Load Step, thông báo tóm tắt các thông tin trước khi tính toán. Nhấn OK để bắt đầu tính toán đến khi xuất hiện thông báo Solution is done cho biết việc tính toán đã hoàn thành > Close.

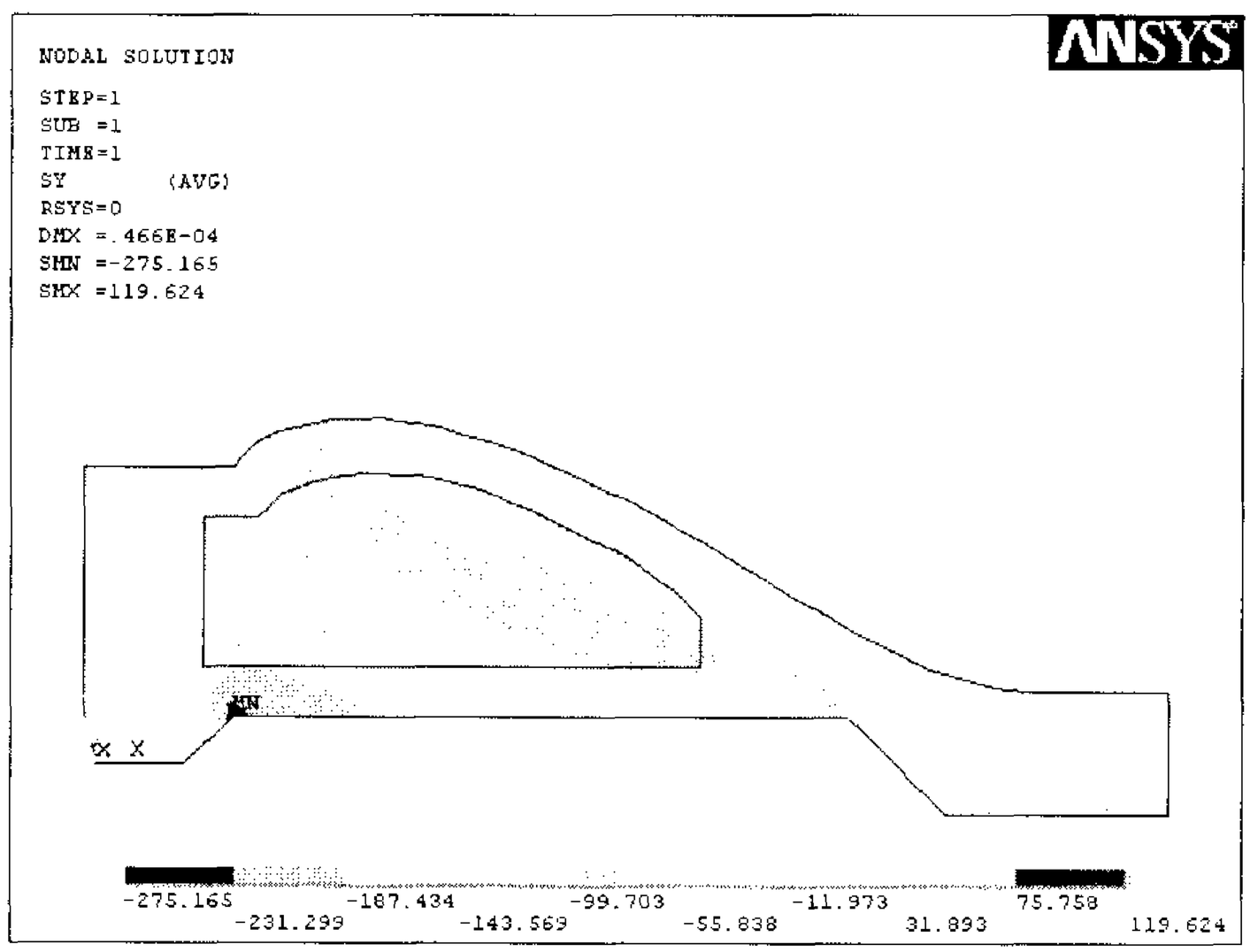
b) Khai thác kết quả tính toán

- *Hiển thị phổ chuyển vị của đập theo phương đứng Y*: General Postproc > Contour Plot Results > Nodal Solution > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data > Nodal Solution > DOF Solution > Y-Component of Displacement > OK > Ta có phổ mầu chuyển vị theo phương Y như ở 4.126. Chuyển vị đứng lớn nhất SMX = 0.1238E-05m.

- *Hiển thị phổ ứng suất của đập theo phương đứng Y*: General Postproc > Plot Result > Contour Plot > Nodal Solu > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data > Nodal Solution > Stress > Y-Component of Stress > OK > Phổ mầu ứng suất theo phương Y như ở hình 4.127, ứng suất lớn nhất SMX=119.624kN/m^2.



Hình 4.126. *Phổ mầu chuyển vị UY của đập*



Hình 4.127. *Phổ mầu ứng suất SY của đập*

- *Chuyển vị tại các nút của đập*: General Postprocessor > List Results > Nodal Solution > Xuất hiện bảng List Nodal Solution > Nhấn DOF Solution > Chọn Displacement Vector USUM > OK > Xuất hiện bảng kết quả tính toán chuyển vị tại các nút của đập cho ở bảng 4.25. Chuyển vị tổng cộng lớn nhất của đập tại nút 717 có USUM = 0.46687E-04m.

Bảng 4.25. Chuyển vị tại một số nút của đập

```
PRNSOL Command
File

PRINT U    NODAL SOLUTION PER NODE

 ***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

 LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
  TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0

 THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL
COORDINATE SYSTEM

   NODE      UX           UY           UZ          USUM
      1  0.91312E-05-0.95783E-05  0.0000     0.13233E-04
      2  0.22705E-05-0.34898E-05  0.0000     0.41634E-05

    716  0.23612E-04-0.30574E-04  0.0000     0.38630E-04
    717  0.41920E-04-0.20370E-04  0.0000     0.46607E-04
    718  0.26118E-04-0.29799E-04  0.0000     0.39625E-04

   1449  0.15734E-04-0.12168E-04  0.0000     0.19890E-04
   1450  0.31502E-05-0.47563E-05  0.0000     0.57049E-05

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES
NODE        717          710          0          717
VALUE   0.41920E-04-0.31666E-04  0.0000     0.46607E-04
```

- *Ứng suất tại các nút của đập*: General Postprocessor > List Results > Nodal Solution > Xuất hiện bảng List Nodal Solution. > Nhấn Nodal Solution > Stress > OK > Xuất hiện bảng PRNSOL Command kết quả tính toán ứng suất tại các nút của đập cho ở bảng 4.26. Ứng suất lớn nhất SY tại nút 504 có SY=119.62kN/m^2.

Bảng 4.26. Ứng suất tại một số nút của đập

```
PRNSOL Command
File

 ***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

 LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
  TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0
 NODAL RESULTS ARE FOR MATERIAL   2

 THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

   NODE    SX          SY          SZ          SXY         SYZ         SXZ

MINIMUM VALUES
NODE        713         513         513         713           1           1
VALUE   -175.59     -275.16     -70.669     -25.582      0.0000      0.0000

MAXIMUM VALUES
NODE        571         504         504         513           1           1
VALUE    14.573      119.62      22.022      139.33      0.0000      0.0000
```

- *Phản lực liên kết*: General Postprocessor > List Results > Reaction Solution > Xuất hiện bảng List Reaction Solution > Chọn All Items > OK > Xuất hiện bảng PRRSOL Command cho kết quả tính toán tổng phản lực tại nền đập cho ở bảng 4.27.

Bảng 4.27. Phản lực liên kết

```
PRRSOL Command
File

TOTAL VALUES
VALUE    -872.15       2743.9
```

Tổng phản lực ngang bằng tổng áp lực ngang:

$\Sigma FX = 872.15 = 0.5\times(100+160)\times6+(6.97-6)\times95 = 875.15kN$

2. Phương thức COMMAND

```
/TITLE,Vi du 4.7 - Dap tran có cua van
/PREP7
ET,1,PLANE183
KEYOPT,1,3,2                !Bài toán biến dạng phẳng
MP,EX,1,2.65E+07
MP,PRXY,1,0.17
MP,DENS,1,2.548
MP,EX,2,2.1E+07
MP,PRXY,2,0.17
MP,DENS,2,2.446
K,1,0,0,0
K,2,2,0,0
K,3,3,1,0
K,4,15.5,1,0
K,5,17.5,-1,0
K,6,22,-1,0
K,7,22,1.5,0
K,8,21,1.5,0
K,9,20,1.5,0
K,10,19.1,1.5,0
K,11,18.5,1.6,0
K,12,17.2,1.94,0
K,13,16,7.5,0
K,14,15,3.06,0
K,15,14,3.64,0
K,16,13,4.23,0
K,17,2,4.82,0
K,18,11,5.35,0
K,19,10,5.82,0
K,20,9,6.25,0
K,21,8,6.59,0
K,22,7,6.85,0
K,23,6,7,0
K,24,5,6.97,0
K,25,3.95,6.75,0
K,26,3.45,6.5,0
K,27,3,6,0
K,28,0,6,0
```

```
K,29,2.4,2,0
K,30,12.5,2,0
K,31,12.5,3,0
K,32,12.5,2,0
K,33,11,4.2,0
K,34,10,4.71,0
K,35,9,5.15,0
K,36,8,5.75,0
K,37,7,5.8,0
K,38,5,5.9,0
K,39,5,5.82,0
K,40,4,5.5
K,41,3.5,5,0
K,42,2,4,5,0
/PNUM,KP,ON
A,1,1:28,1
A,2:29:42,1
ESIZE,ALL,,,2
AMESH,ALL
NSEL,S,LOC,Y,0
D,ALL
ALLSEL,ALL
ACEL,,9.81
SFL,5,PRES,0,1200
/SOLU
ANTYPE,STATIC
SOLVE
FINISH
/POST1
PLDISP,1
PLNSOL,U,X
PLNSOL,U,Y
PLNSOL,S,X
PLNSOL,S,Y
PLNSOL,S,1
FINISH
```

Chương 5
KẾT CẤU VỎ MỎNG

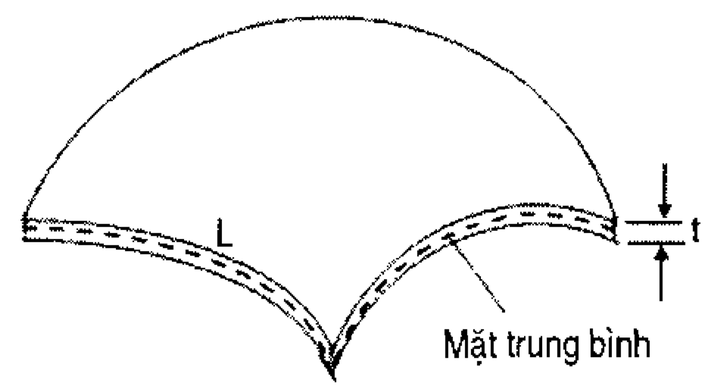
5.1. KẾT CẤU VỎ

Vỏ mỏng là vật thể được giới hạn bởi hai mặt cong và khoảng cách giữa hai mặt này gọi là chiều dày t của vỏ và khá bé so với các kích thước khác. Hai mặt cong giới hạn nói trên gọi là mặt vỏ, mặt chia đôi bề dày t gọi là mặt trung (xem hình 5.1). L là kích thước mặt vỏ, tùy theo tỷ số t/L mà người ta chia ra:

- Vỏ dày: $t \geq \left(\frac{1}{5} \div \frac{1}{8}\right) L_{min}$

- Vỏ mỏng: $\frac{1}{200} L_{min} \leq t \leq \frac{1}{8} L_{min}$

- Vỏ rất mỏng: $t \leq \frac{1}{200} L_{min}$



Hình 5.1. *Kết cấu vỏ*

5.2. PHẦN TỬ VỎ (SHELL)

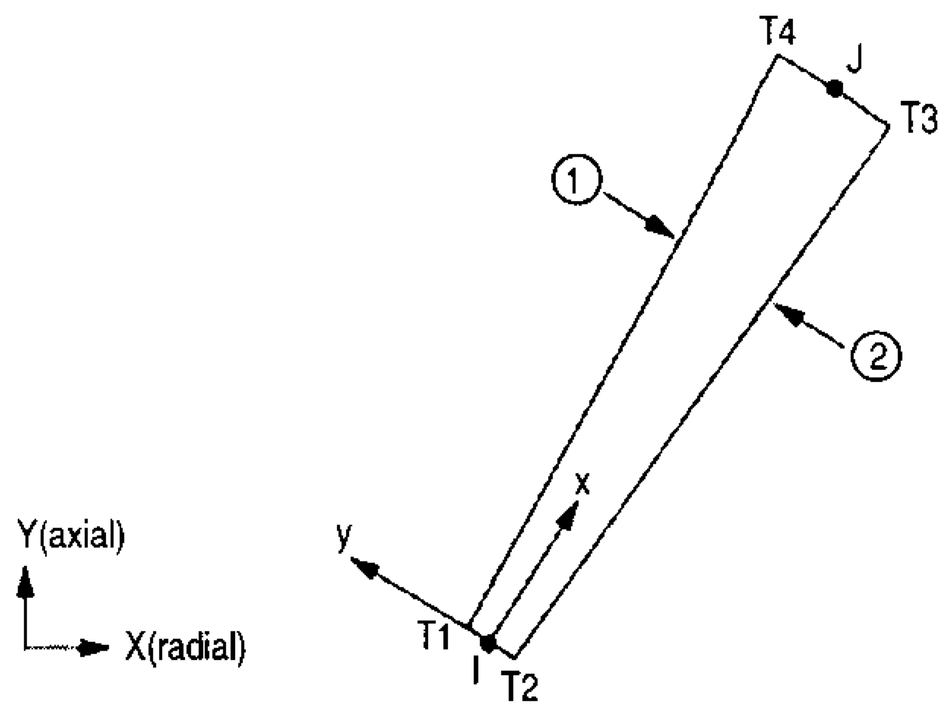
Vỏ mỏng thường được rời rạc hóa bằng phần tử Shell, ngoài phần tử vỏ kết cấu đối xứng SHELL51 và phần tử vỏ đàn hồi SHELL63 được ứng dụng rất nhiều trong tính toán kết cấu công trình xây dựng, SHELL61, SHELL91, SHELL93... cũng thường được sử dụng.

Trong công trình xây dựng, phần tử vỏ thường hay kết hợp với các phần tử kết cấu khác (ví dụ như BEAM, SOLID) để tạo thành một hệ kết cấu vững chắc, chẳng hạn như bản sàn trong kết cấu nhà cao tầng, bản mặt cầu. Trong công trình thủy lợi, phần tử vỏ dùng để mô phỏng bản mặt và bản sườn tường chắn đất, kết cấu cống ngầm, kết cấu cửa van.... Dưới đây giới thiệu hai phần tử vỏ thường dùng.

5.2.1. Phần tử vỏ kết cấu đối xứng trục SHELL51

SHELL51 là phần tử vỏ kết cấu đối xứng trục. SHELL51 có hai điểm nút, trên mỗi điểm nút có độ tự do chuyển vị theo phương X, Y, Z và độ tự do góc xoay quanh trục Z.

Hình dạng hình học, phương điểm nút và hệ toạ độ của phần tử SHELL51 cho ở hình 5.2. Định nghĩa phần tử thông qua 2 điểm nút, độ dày hai đầu và tính chất vật liệu dị hướng. Độ dày phần tử là biến đổi tuyến tính. Phần tử SHELL51 có tính chất tính dẻo, từ biến, giãn nở, ứng suất cứng hoá, biến hình lớn và xoay chuyển...



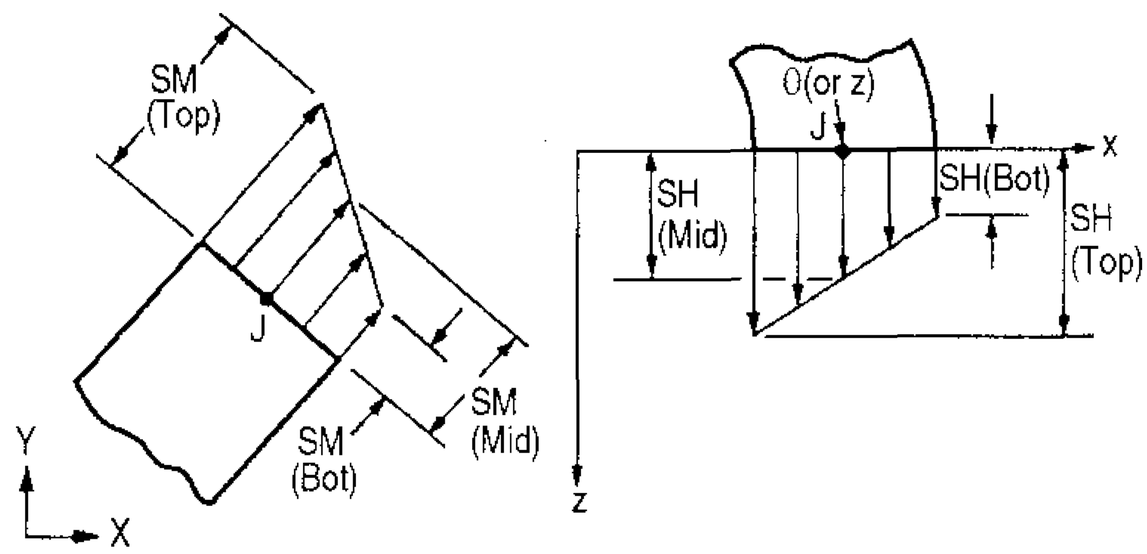
Hình 5.2. *Hình dạng hình học, điểm nút và hệ toạ độ của phần tử SHELL51*

Số liệu đầu vào: Số liệu đầu vào phần tử SHELL51 cho ở bảng 5.1.

Bảng 5.1. Số liệu đầu vào phần tử SHELL51

Tên gọi phần tử	SHELL51
Điểm nút	I, J
Độ tự do	UX, UY, UZ, ROTZ
Hằng số thực	TK(I) - độ dày điểm nút đầu I TK(J) - độ dày điểm nút đầu J
Đặc tính vật liệu	EX, EY, EZ, PRXY, PRYZ, PRXZ (hoặc NUXY, NUYZ, NUXZ) ALPX, ALPZ (hoặc CTEX, CTEZ hoặc THSX, THSZ) DENS, GXZ, DAMP
Tải trọng bề mặt	Áp lực: Mặt 1 (I-J) (đỉnh, hướng –Y) Mặt 2 (I-J) (đáy, hướng +Y)
Tải trọng khối	Nhiệt độ: T1, T2, T3, T4 Lưu lượng nhiệt: FL1, FL2, FL3, FL4
Đặc tính	Tính dẻo, từ biến, giãn nở, ứng suất cứng hoá, biến dạng lớn
KEYOPT (3)	Hình dạng chuyển vị lớn: 0 - Bao hàm hình dạng chuyển vị lớn 1 - Khống chế hình dạng chuyển vị lớn
KEYOPT (4)	Xuất lực và mômen: 0 - Không xuất lực và mômen 1 - Xuất lực và mômen trong hệ toạ độ phần tử

Số liệu đầu ra: Số liệu đầu ra phần tử SHELL51 cho ở hình 5.3 và bảng 5.2.



Hình 5.3. *Ứng suất phần tử SHELL51*

Bảng 5.2. Số liệu đầu ra phần tử SHELL51

Tên gọi	Định nghĩa
EL	Mã phần tử
NODES	Điểm nút phần tử I, J
MAT	Mã vật liệu
LEN	Khoảng cách giữa điểm nút I và điểm nút J
XC, YC	Toạ độ trung tâm xuất kết quả phần tử
TEMP	Nhiệt độ: T1, T2, T3, T4
PRES	Áp lực: P1 (đỉnh), P2 (đáy)
FLUEN	Lưu lượng nhiệt: FL1, FL2, FL3, FL4
T (X,Z,XZ)	Ứng suất phẳng phần tử
M (X,Z,XZ)	Mômen phần tử
MFOR (X,Z,XZ)	Lực theo phương X, Y, Z mỗi điểm nút trong hệ toạ độ phần tử
MMOMZ	Mômen mỗi điểm nút trong hệ toạ độ phần tử
S (M,THK,H,MH)	Ứng suất
EPEL (M,THK,H,MH)	Biến dạng đàn hồi
EPTH (M,THK,H,MH)	Biến dạng nhiệt
EPPL (M,THK,H,MH)	Biến dạng dẻo
EPCR (M,THK,H,MH)	Biến dạng từ biến
EPSW	Biến dạng giãn nở
SEPL	Ứng suất tương đương trên đường cong ƯS-BD
SRAT	Tỉ số giữa ứng suất hướng trục và ứng suất bề mặt
HPRES	Áp lực thủy tĩnh
EPEQ	Ứng suất tính dẻo tương đương
SINT	Cường độ ứng suất bề mặt
SEQV	Ứng suất tính dẻo tương đương
S (1,2,3)	Ứng suất chính

Chú thích:

- Phần tử vỏ đối xứng trục nhất thiết phải định nghĩa trong mặt phẳng X-Y mà còn trục Y là trục đối xứng.

- Độ dài phần tử và độ dày nút I đều không được bằng 0 mà còn hai đầu phần tử có giá trị toạ độ không âm.

- Cho dù phần tử có cho phép hình dạng chuyển vị là hàm số chuyển vị không gian, cũng nên cho rằng là phần tử hằng số độ cong.

- Nếu độ dày phần tử là hằng số, chỉ cần định nghĩa độ dày điểm nút I.

- Độ dày phần tử từ điểm nút I đến điểm nút J biến đổi tuyến tính.

- Phần tử không có khả năng dùng mệnh lệnh EKILL.

- Tổ hợp nhiều phần tử vỏ có khả năng phát sinh một mặt vỏ cong tương đương, nhưng mỗi một phần tử nên chắn góc nhỏ hơn 5 độ.

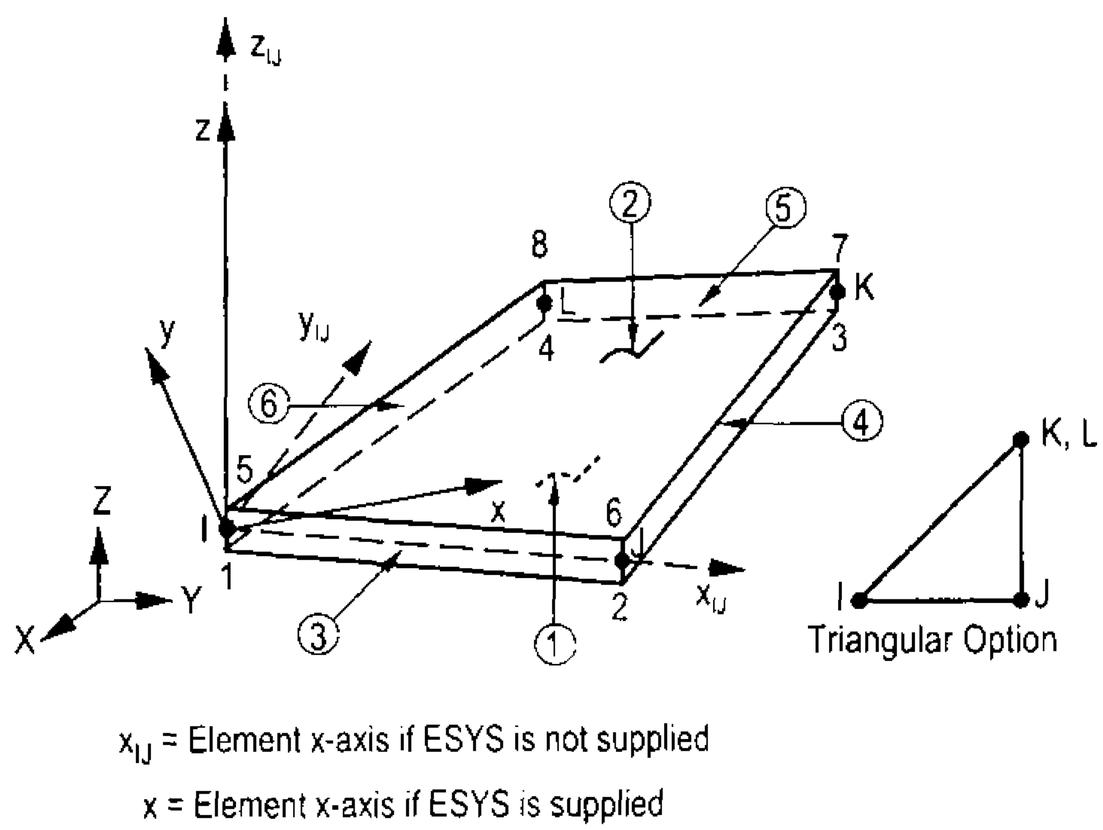
- Không có khả năng sử dụng đặc tính vật liệu giảm dần.

- Trong đặc tính phần tử chỉ có ứng suất cứng hoá và có thể sử dụng biến hình lớn.

5.2.2. Phần tử vỏ đàn hồi SHELL63

SHELL63 là phần tử vỏ đàn hồi 4 điểm nút có độ cong và đặc tính màng mỏng, trong mặt phẳng và pháp tuyến đều có thể gán tải trọng. Mỗi một điểm nút có 6 độ tự do: độ tự do chuyển vị theo phương X, Y, Z và độ tự do góc xoay quanh trục X, Y, Z. Phần tử có tính năng ứng suất cứng hoá và biến hình lớn.

Hình dáng hình học, phương hướng điểm nút, hệ toạ độ được cho ở hình 5.4. Định nghĩa phần tử thông qua 4 điểm nút, 4 độ dày, 1 độ cứng nền đàn hồi và tính chất vật liệu. Độ dày phần tử là biến đổi tuyến tính, phần tử có tính chất tính dẻo, từ biến, giãn nở, ứng suất cứng hoá, biến hình lớn và xoay chuyển...



Hình 5.4. *Hình dạng hình học, điểm nút, hệ toạ độ phần tử SHELL63*

Số liệu đầu vào: Số liệu đầu vào phần tử SHELL63 cho ở bảng 5.3.

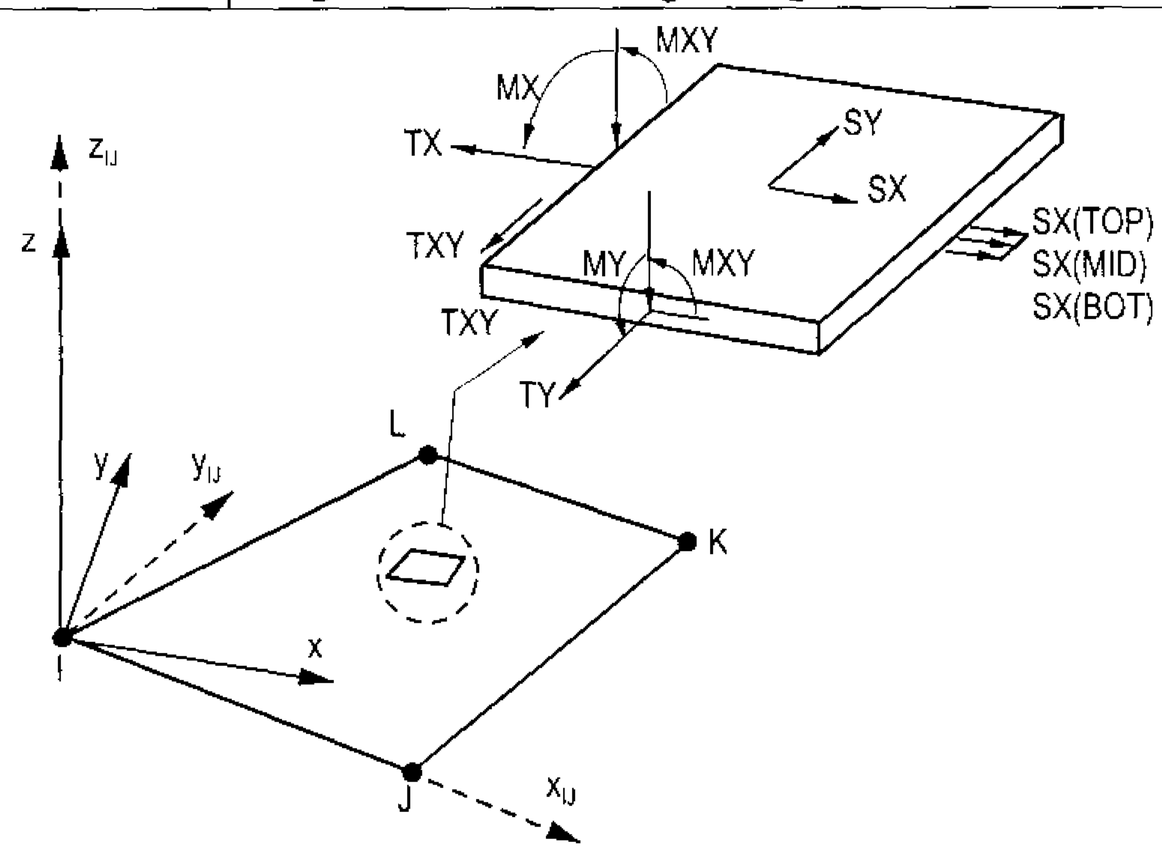
Bảng 5.3. Số liệu đầu vào phần tử SHELL63

Tên gọi phần tử	SHELL63
Điểm nút	I, J, K, L
Độ tự do	UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ
Hằng số thực	TK(I), TK(J), TK(K), TK(L), EFS, THETA, RMI, CTOP, CBOT
Đặc tính vật liệu	EX, EY, EZ, PRXY, PRYZ, PRXZ (hoặc NUXY, NUYZ, NUXZ) ALPX, ALPY, ALPZ (hoặc CTEX, CTEY, CTEZ hoặc THSX, THSY, THSZ) DENS, GXZ, DAMP
Tải trọng bề mặt	Áp lực: Mặt 1 (I-J-K-L) (đáy, hướng +Z) Mặt 2 (I-J-K,L) (đỉnh, hướng -Z) Mặt 3 (J-I), Mặt 4 (K-J), Mặt 5 (L-K), Mặt 6 (I-L)
Tải trọng khối	Nhiệt độ: T1, T2, T3, T4, T4, T5, T6, T7, T8
Đặc tính	Ứng suất cứng hoá, biến dạng lớn, phần tử sinh chết
KEYOPT (1)	Độ cứng phần tử: 0 - Độ cứng uốn cong và độ cứng màng mỏng 1 - Độ cứng màng mỏng 2- Độ cứng uốn cong
KEYOPT (2)	Lựa chọn ứng suất cứng hoá: 0 - Dùng ma trận độ cứng cắt chính (khi NLGEOM là ON) 1 - Dùng ma trận độ cứng không đổi (khi NLGEOM là ON và KEYOPT (1) = 0) 2 - Đóng ma trận độ cứng không đổi (khi SOLCONTROL là ON)
KEYOPT (3)	Hình dạng biến dạng lớn: 0 - Bao hàm hình dạng biến dạng lớn 1 - Khống chế hình dạng biến dạng lớn
KEYOPT (5)	Xuất kết quả ứng suất: 0 - Xuất phần tử cơ bản 2 - Xuất ứng suất nút
KEYOPT (6)	Tải trọng áp lực: 0 - Tải trọng áp lực giảm dần 2 - Tải trọng áp lực không đổi
KEYOPT (7)	Ma trận độ cứng: 0 - Ma trận độ cứng không đổi 1 - Ma trận độ cứng giảm dần
KEYOPT (8)	Ma trận độ cứng ứng suất : 0 - Ma trận độ cứng ứng suất gần như không đổi 1 - Ma trận độ cứng ứng suất giảm dần
KEYOPT (9)	Định nghĩa hệ toạ độ phần tử: 0 - Không sử dụng định nghĩa hệ toạ độ phần tử trình tự người dùng 4- Sử dụng định nghĩa trục X phần tử trình tự người dùng
KEYOPT (11)	Xác định phương thức bảo lưu số liệu: 0 - Chỉ bảo lưu số liệu cho mặt đỉnh và mặt đáy 2 - Bảo lưu số liệu mặt đỉnh, mặt đáy và mặt trung bình

Số liệu đầu ra: Số liệu đầu ra phần tử SHELL63 được cho ở bảng 5.4 và hình 5.5.

Bảng 5.4. Số liệu đầu ra phần tử SHELL63

Tên gọi	Định nghĩa
EL	Mã phần tử
NODES	Điểm nút phần tử I, J, K, L
MAT	Mã vật liệu
AREA	Diện tích
XC, YC, ZC	Toạ độ trung tâm xuất kết quả phần tử
TEMP	Nhiệt độ: T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8
PRES	Áp lực: P1 (I-J-K-L), P2 (I-J-K-L), P3 (J-I), P4 (K-J), P5 (L-K), P6 (I-L)
FLUEN	Lưu lượng nhiệt: FL1, FL2, FL3, FL4
T (X,Y,XY)	Ứng suất phẳng phần tử
M (X,Y,XY)	Mômen phần tử
FOUND PRESS	Ứng suất cơ bản
LOC	Đỉnh, giữa hoặc đáy
S: X, Y, X, XY	Tổ hợp ứng suất màng mỏng và uốn cong
S: 1, 2, 3	Ứng suất chính
S: INT	Cường độ ứng suất
S: EQV	Ứng suất tương đương
EPEL: X,Y,Z,XY	Ứng suất đàn hồi trung bình
EPEL: EQV	Ứng suất đàn hồi tương đương



x_{IJ} = Element x-axis if ESYS is not supplied

x = Element x-axis if ESYS is supplied

Hình 5.5. *Ứng suất đầu ra phần tử SHELL63*

Chú thích:

- Diện tích phần tử và độ dày bình quân không được bằng 0.

- Giả thiết thang độ nhiệt hướng ngang biến đổi tuyến tính theo chiều dày.

- Nếu một phần tử phẳng chắn góc lớn hơn 15 độ, tổ hợp nhiều phần tử vỏ phẳng có thể tạo thành một vỏ mặt cong tương đương. Nếu nhập một độ cứng nền đàn hồi, mỗi một điểm nút chịu 1/4 tổng độ cứng. Phần tử màng mỏng này không xét đến biến hình cắt.

- Nếu định nghĩa điểm nút K và L trùng nhau, phần tử vỏ sẽ tạo thành phần tử tam giác.

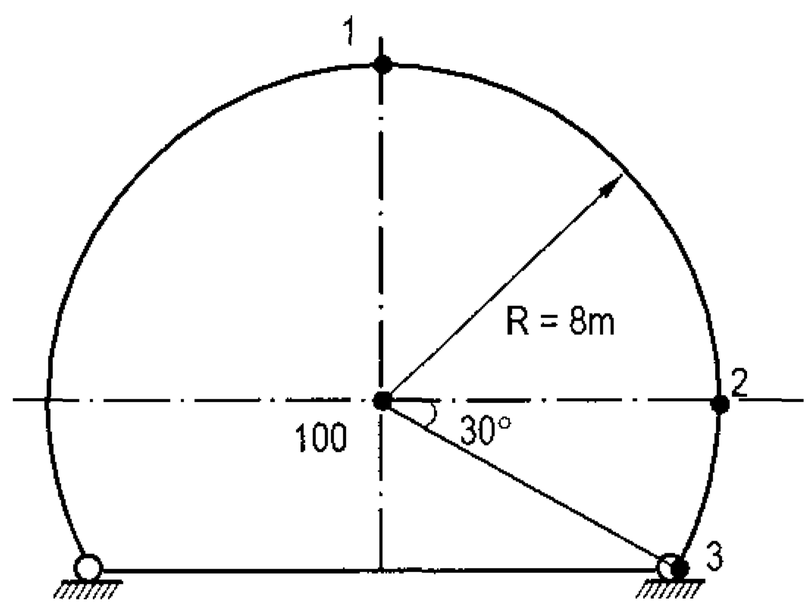
- Không sử dụng đặc tính vật liệu giảm dần.

- KEYOPT(2) và KEYOPT(9) chỉ có khả năng thiết lập bằng 0.

5.3. PHÂN TÍCH KẾT CẤU VỎ

• Ví dụ 5.1. Kết cấu vòm vỏ mỏng không gian

Xác định nội lực và chuyển vị của kết cấu vòm vỏ mỏng không gian hình bán cầu do trọng lượng bản thân sinh ra. Kết cấu vỏ mỏng có kích thước hình chiếu cạnh như hình 5.6, bán kính R = 8m, độ dày vòm t = 0.045m, biên tròn đáy vỏ liên kết với nền bằng khớp cố định. Vật liệu làm vỏ có mô đun đàn hồi $E = 2.094\times10^8 kN/m^2$; hệ số Poisson $\mu = 0.3$; trọng lượng riêng $\gamma = 76.81 kN/m^3$.



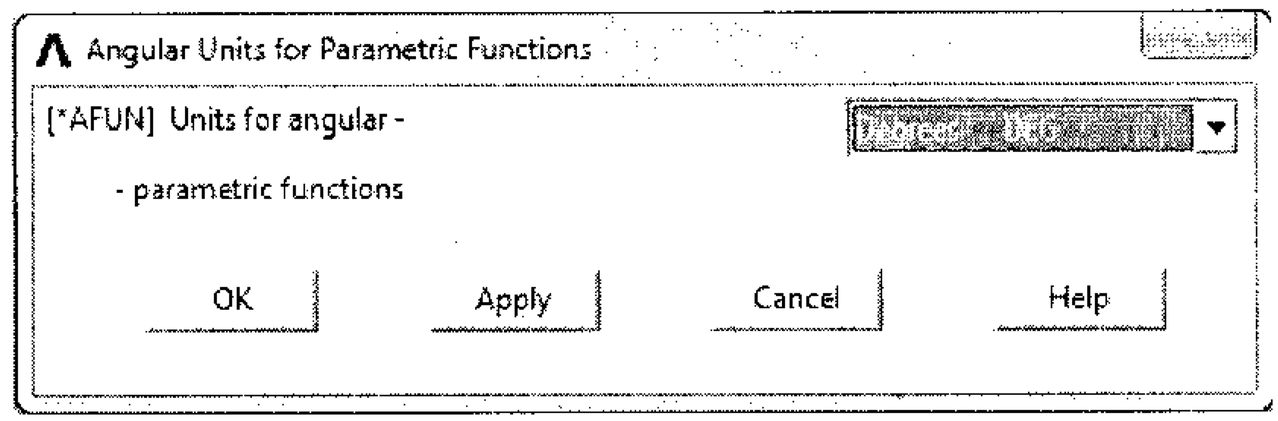
Hình 5.6. Kết cấu vỏ không gian

1. Thực hiện theo phương thức GUI

a) Xây dựng mô hình và giải bài toán

- *Đặt tên cho bài toán*: Từ menu File > Change Title > Xuất hiện bảng Change Title > Nhập: Vidu 5.1-Vom vo mong khong gian > OK.

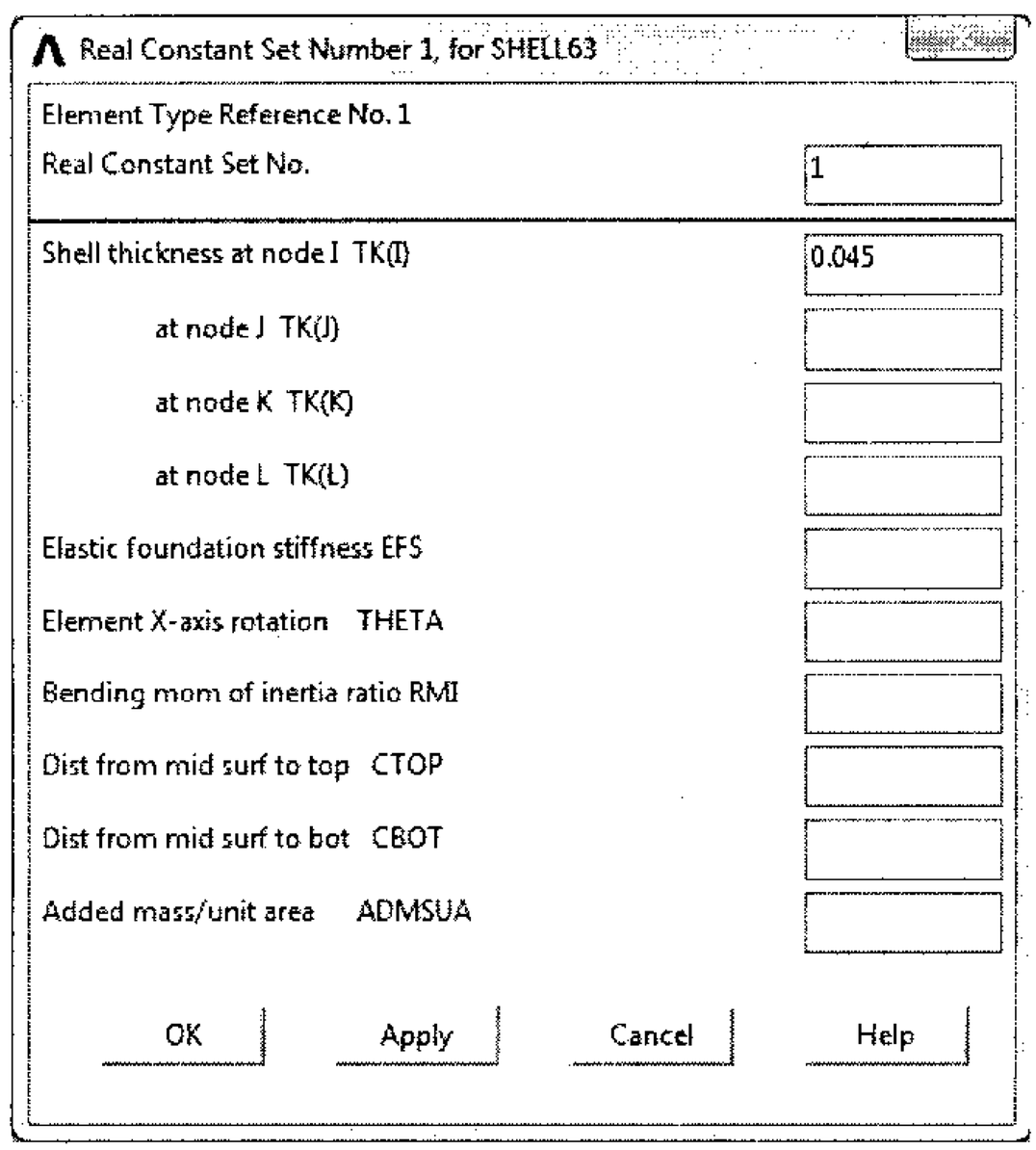
- *Chọn hệ đơn vị*: kN, m, độ. Utility Menu > Parameters > Angular Units > Xuất hiện bảng Angular Units for Parametric Funtions như hình 5.7, trong Units for angular lựa chọn DEG, nhấn OK để thoát khỏi cửa sổ.



Hình 5.7. *Thay đổi đơn vị góc là độ cho thông số đầu vào và đầu ra*

- *Chọn loại phần tử:* Trong ví dụ này chọn phần tử vỏ SHELL63 để mô phỏng kết cấu vỏ mỏng. Từ Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Xuất hiện cửa sổ Element Type > Nhấn Add > Xuất hiện bảng Library of Element Types > Chọn Shell ở cửa sổ trái và Elastic nodes63 ở cửa sổ phải > OK → Xuất hiện lại bảng Element Type và SHELL63 đã được đưa vào danh sách > OK > Hoàn thành định nghĩa phần tử SHELL63.

- *Định nghĩa hằng số thực:* Main Menu > Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete > Xuất hiện cửa sổ Real Constants, nhấn Add xuất hiện một cửa sổ mới Element Type for Real Constants, sau đó lựa chọn phần tử SHELL63, nhấn OK xuất hiện cửa sổ Real Constant Set Number 1, for SHELL63 (hình 5.8). Trong cửa sổ này nhập giá trị Shell thickness at node I TK(I) là 0.045 > OK, nhấn Close hoàn thành định nghĩa hằng số thực.



Hình 5.8. *Định nghĩa hằng số thực cho phần tử SHELL63*

- *Định nghĩa thuộc tính vật liệu:* Preprocessor > Material Props > Material Model > Define Material Model Behavior > Structural > Linear > Elastic > Isotropic > Linear Isotropic Properties for Material Number 1 > Nhập EX = 2.094E+8 và PRXY = 0.262. Tiếp tục nhấn Density > Xuất hiện bảng Density for Material Number 1 > Nhập khối lượng riêng DENS = 76.81/9.81 = 7.83 > Material > Exit để thoát khỏi cửa sổ.

- *Kích hoạt hệ tọa độ trụ*: Utility Menu > WorkPlane > Change Active CS to > Global Cylindrical (trục Z là trục quay).

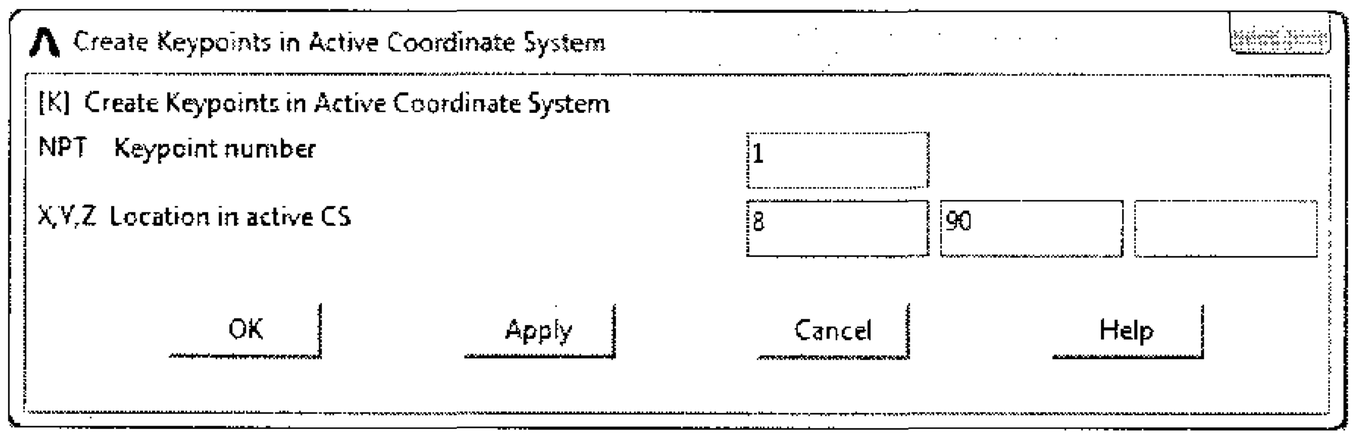
- *Tạo điểm đặc trưng*: Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS > Xuất hiện cửa sổ hình 5.9, lần lượt nhập tọa độ 4 điểm đặc trưng trong hệ tọa độ trụ:

Nhập điểm 1 với tọa độ X=8, Y=90 > Apply

Nhập điểm 2 với tọa độ X=8, Y=0 > Apply

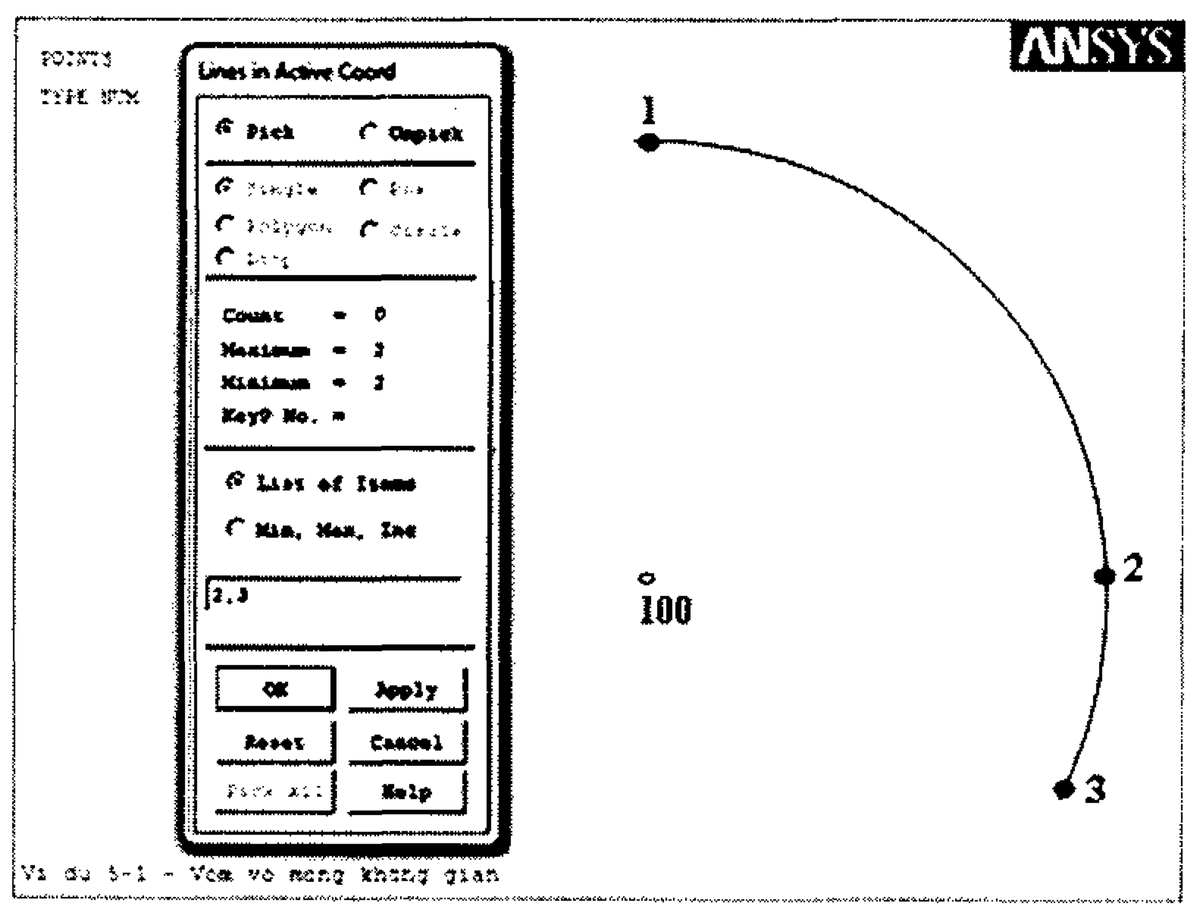
Nhập điểm 3 với tọa độ X=8, Y=-30 > Apply

Nhập điểm 100 với tọa độ X=0, Y=0 > OK.



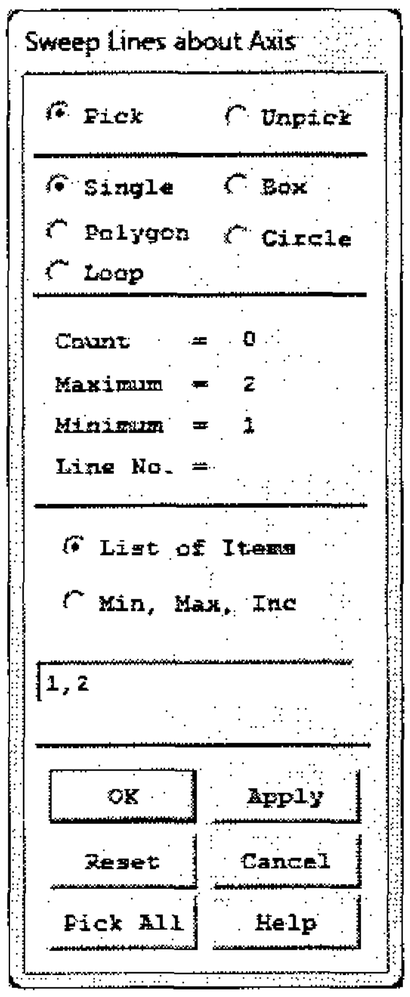
Hình 5.9. *Tạo điểm đặc trưng trong hệ tọa độ trụ*

- *Tạo đường cong:* Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Lines > In Active Coord > Xuất hiện cửa sổ Line in Active Coord như hình 5.10. Lần lượt tạo các đường L1 (1,2) > Apply > L2 (2,3) > OK.

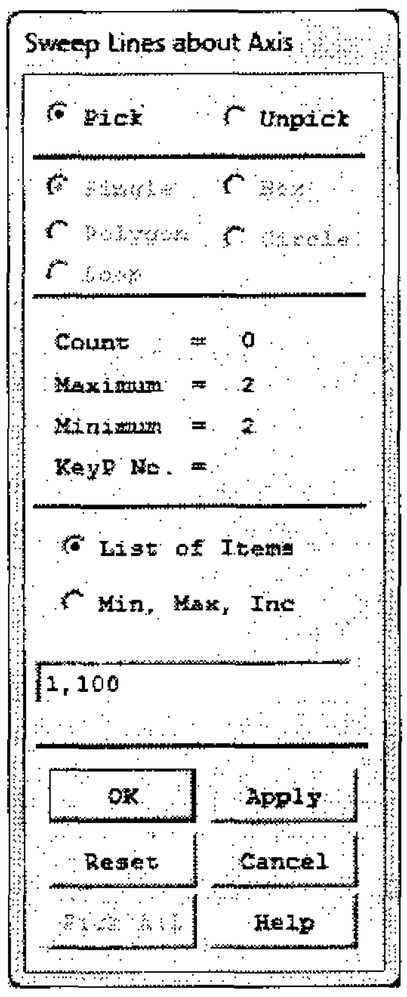


Hình 5.10. *Tạo đường cong trong hệ tọa độ trụ*

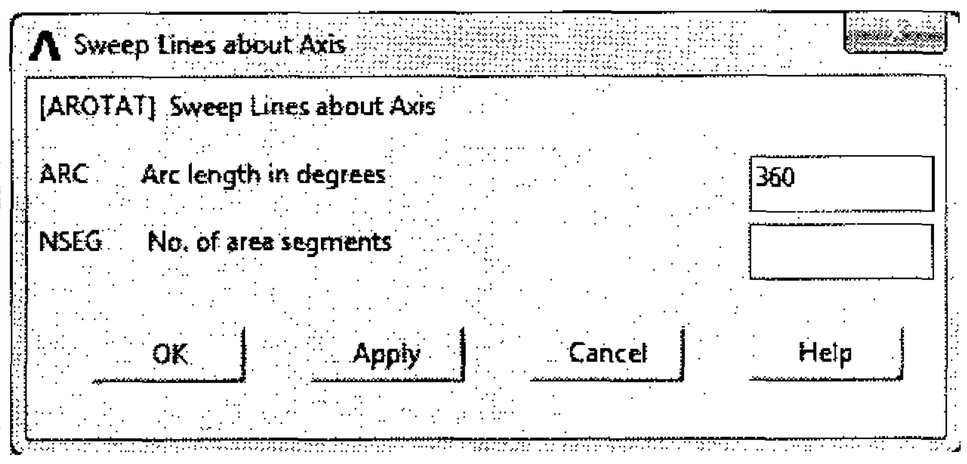
- *Tạo mặt cầu trong hệ tọa độ trụ:* Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Extrude > Lines > About Axis > Xuất hiện cửa sổ Sweep Lines about Axis như hình 5.11 > Chọn đường L1 và L2 bằng cách nhập 1, 2 vào trong cửa sổ > Nhấn OK > Tiếp tục lựa chọn điểm K1 và K100 bằng cách nhập 1, 100 vào trong cửa sổ như hình 5.12 > Nhấn OK > Xuất hiện cửa sổ như hình 5.13, chấp nhận các giá trị mặc định > Nhấn OK để hoàn thành. Mô hình hình học mặt vỏ không gian cho ở hình 5.14.



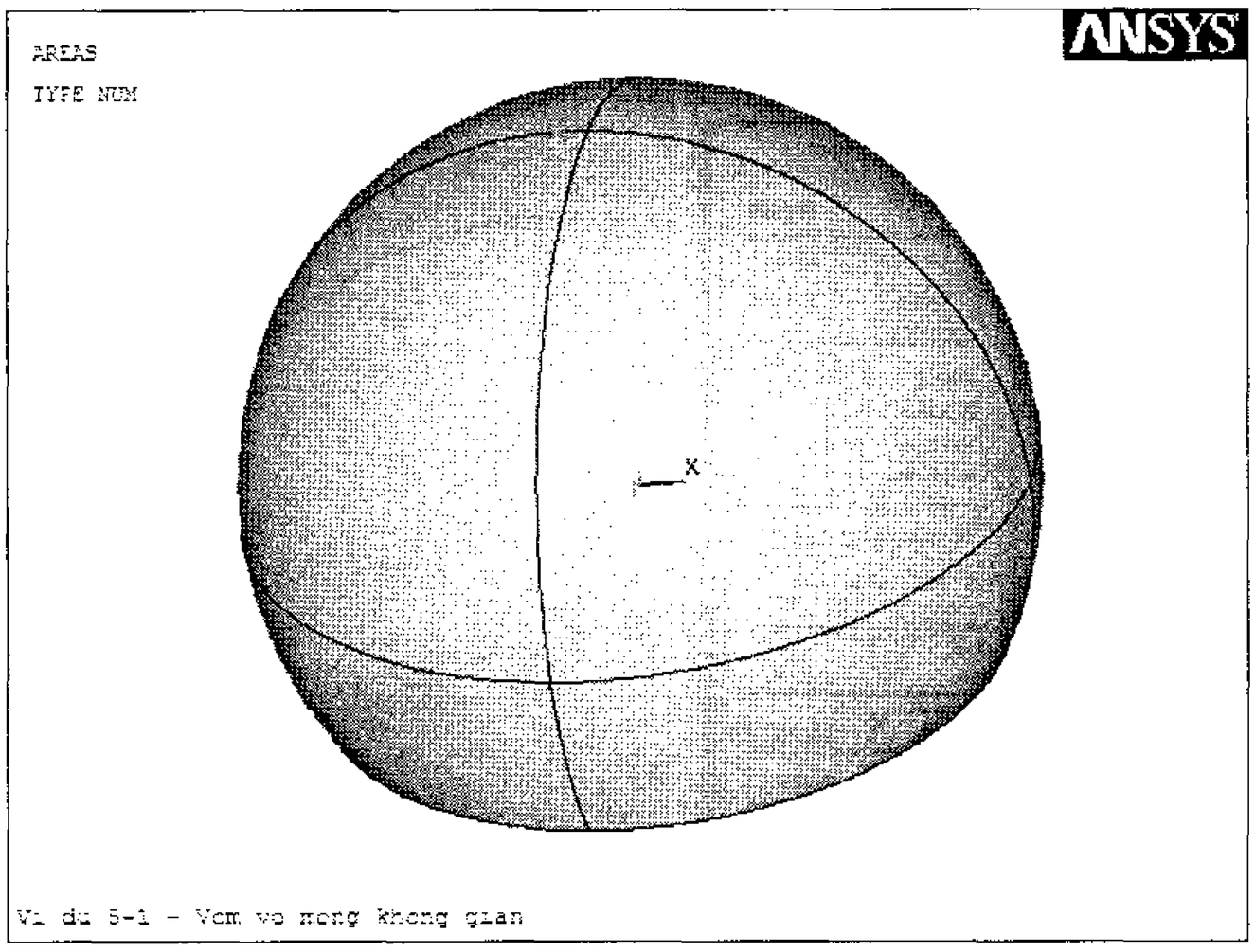
Hình 5.11



Hình 5.12

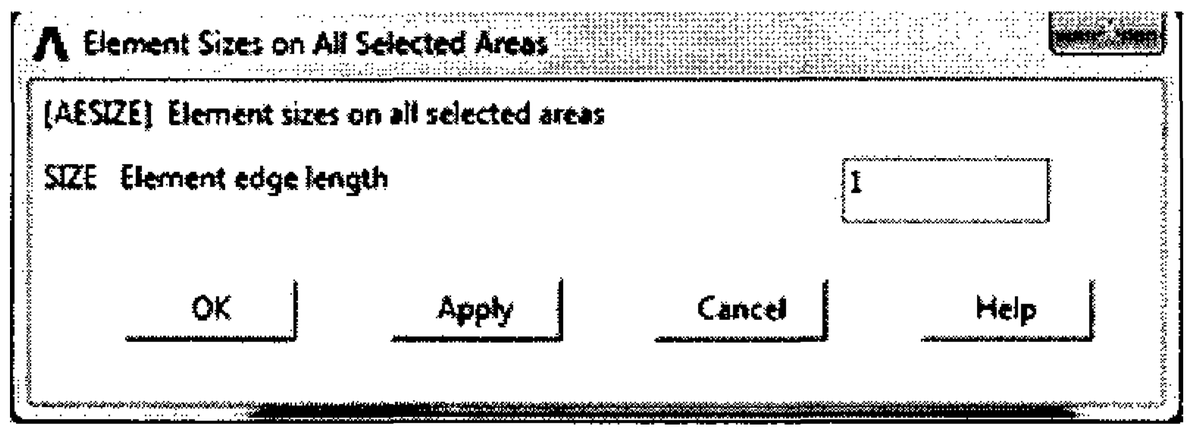


Hình 5.13



Hình 5.14. *Mô hình hình học vòm không gian*

- *Chọn kích thước phần tử:* Main Menu > Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > ManualSize > Areas > All Areas > Xuất hiện cửa sổ Element Sizes on All Selected Areas như hình 5.15, nhập giá trị SIZE = 1 > nhấn OK để hoàn thành định nghĩa kích thước mạng lưới.

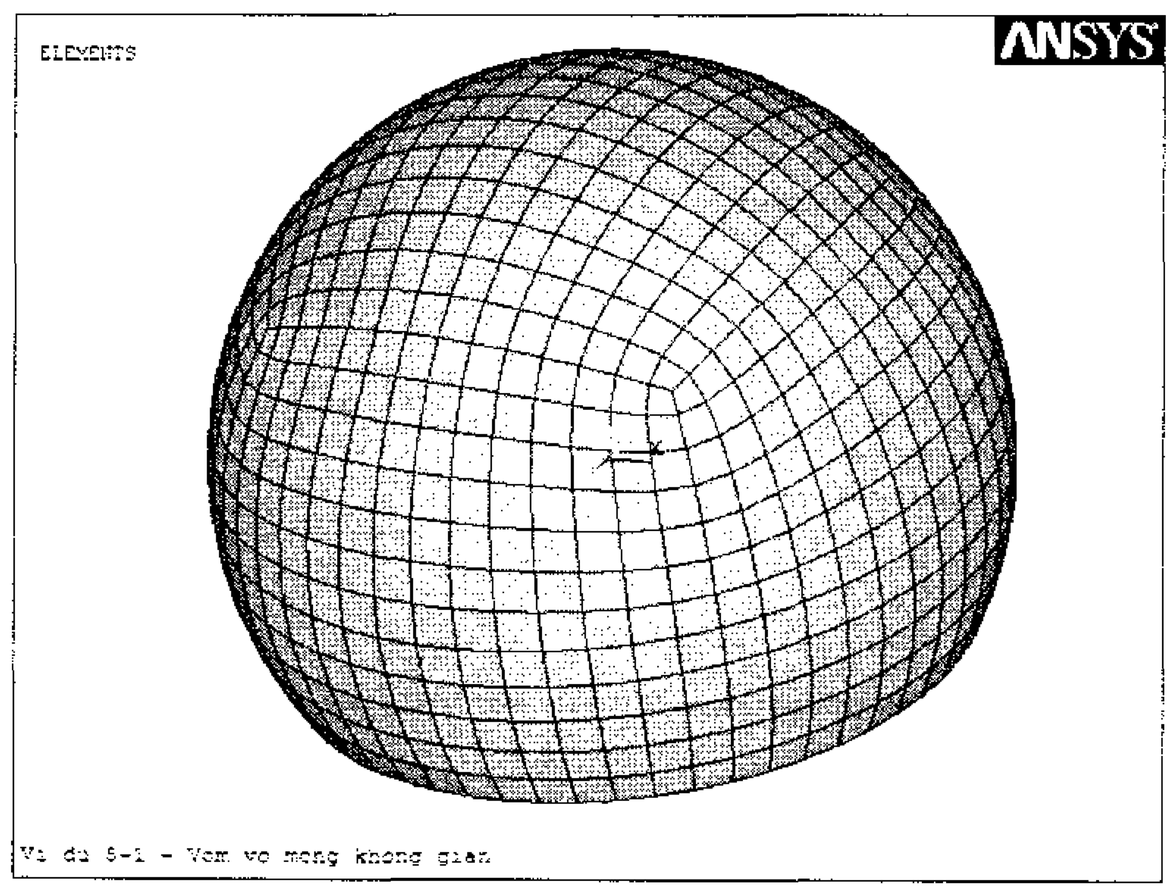


Hình 5.15. *Định nghĩa kích thước phần tử*

- *Chuyển về hệ tọa độ Cartesian*: Utility Menu > WorkPlane > Change Active CS to > Global Cartesian.

- *Phân chia mạng lưới phần tử*: Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh > Areas > Mapped > 3 or 4 sides > Xuất hiện cửa sổ Mesh Areas > Nhấn Pick all hoàn thành phân chia mạng lưới phần tử hữu hạn. Mô hình phần tử hữu hạn vòm vỏ mỏng không gian được cho ở hình 5.16.

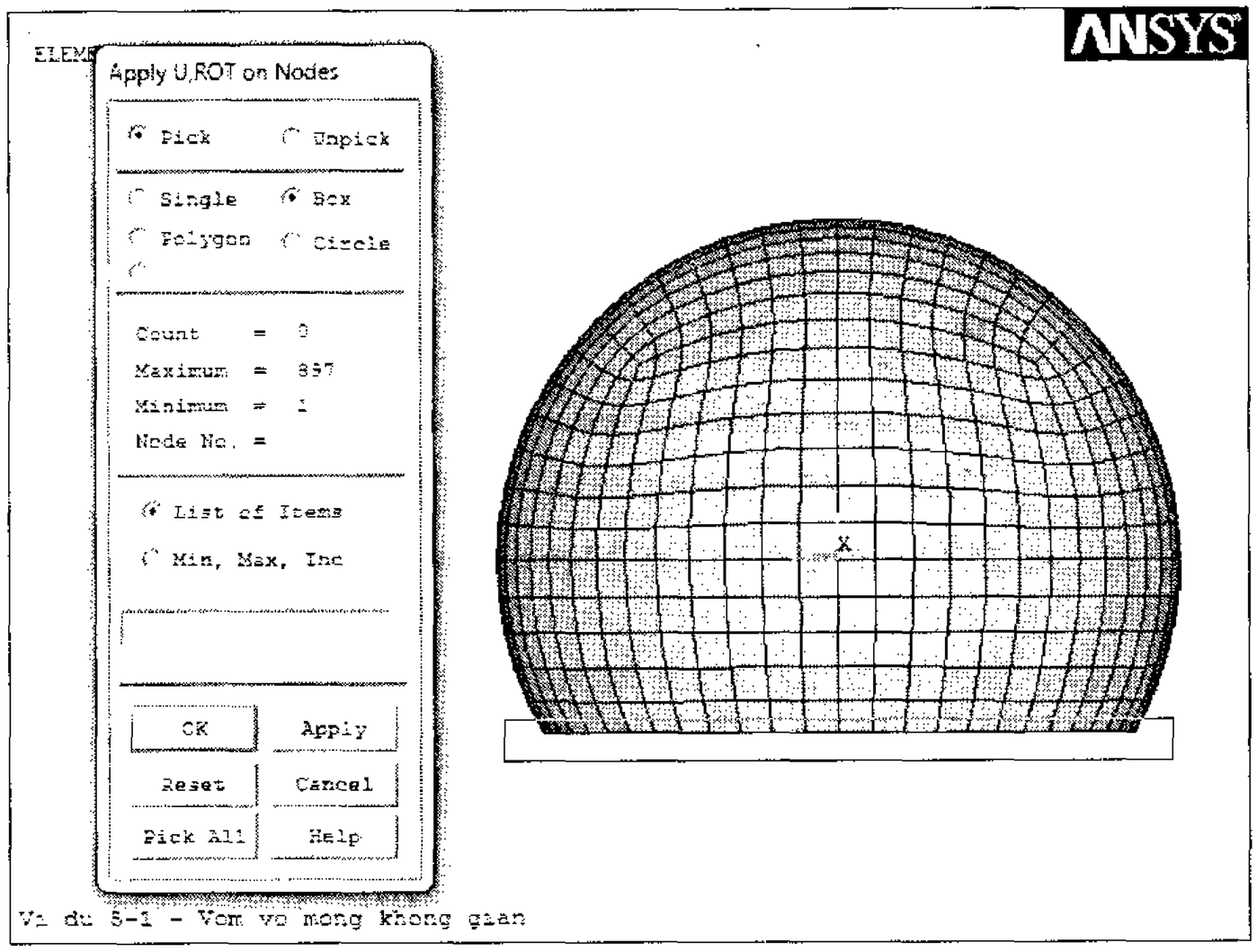
Chú ý: Đối với ví dụ này có thể dùng phần tử vỏ SHELL93 có điểm nút trung gian trên cạnh phần tử để đem lại hiệu quả cao hơn khi phân chia mạng lưới phần tử.



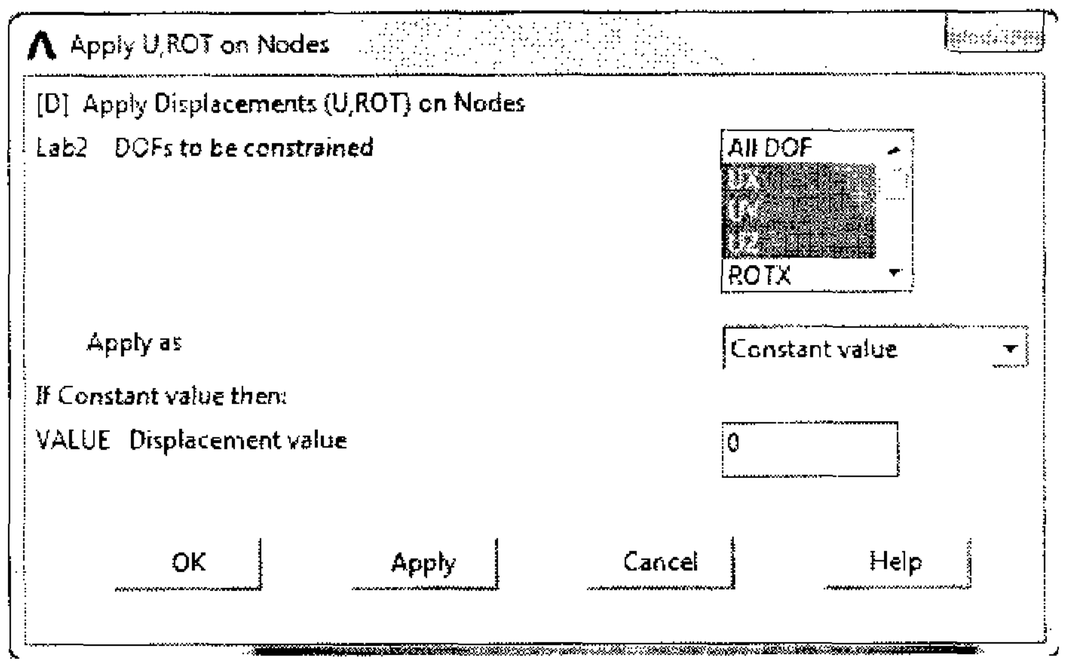
Hình 5.16. *Mô hình phần tử hữu hạn vòm vỏ mỏng không gian*

- *Gán điều kiện biên*: Chọn tất cả các điểm nút trên biên đáy vòm và gán ràng buộc chuyển vị thẳng. Trước hết trên thanh công cụ bên phải nhấn nút để đưa mô hình kết cấu vòm vỏ mỏng không gian về hình chiếu cạnh. Từ Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Nodes > Xuất hiện bảng Apply U, ROT on Nodes > Chọn ⊙ Box > Dùng chuột kéo một hình chữ nhật để bao

toàn bộ các điểm nút đáy vòm như hình 5.17 > Nhấn OK > Xuất hiện bảng Apply U, ROT on Nodes > Chọn UX, UY, UZ, trong Displacement Value nhập giá trị 0 như ở hình 5.18 > OK.



Hình 5.17. Lựa chọn tất cả các nút biên đáy vòm



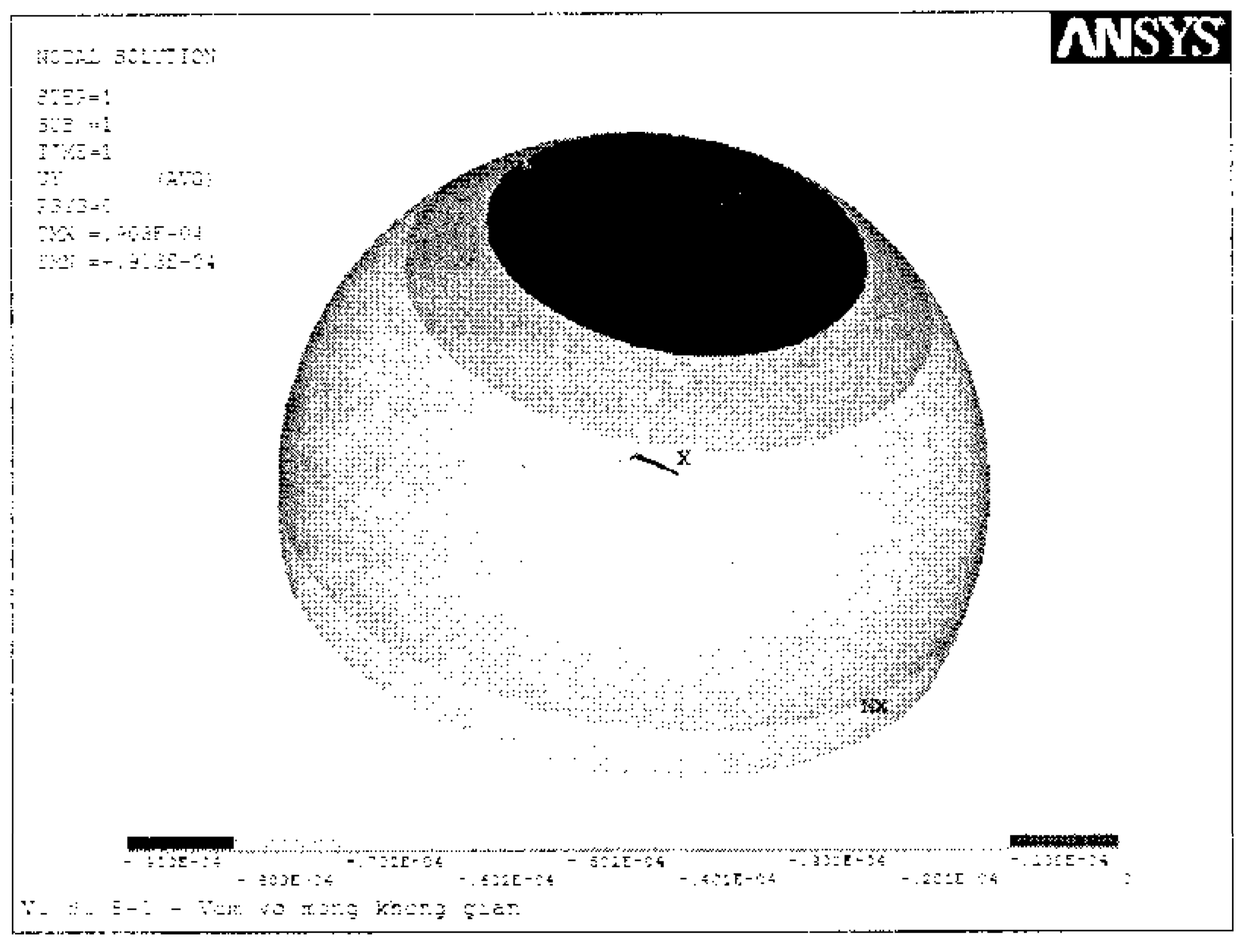
Hình 5.18. Lựa chọn điều kiện ràng buộc

- *Gán gia tốc trọng trường:* Utility Menu > Select > Everything > Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Inertia > Gravity > Global > Xuất hiện bảng Apply (Gravitational) Acceleration, nhập 9.81 theo phương Y trong ACELY Global Cartesian Y-comp > OK.

- *Giải bài toán:* Main Menu > Solution > Solve > Current LS > Xuất hiện bảng STATUS Command và bảng Solve current Load Step, thông báo tóm tắt các thông tin trước khi tính toán. Nhấn OK để bắt đầu tính toán đến khi xuất hiện thông báo Solution is done cho biết việc tính toán đã hoàn thành > Close.

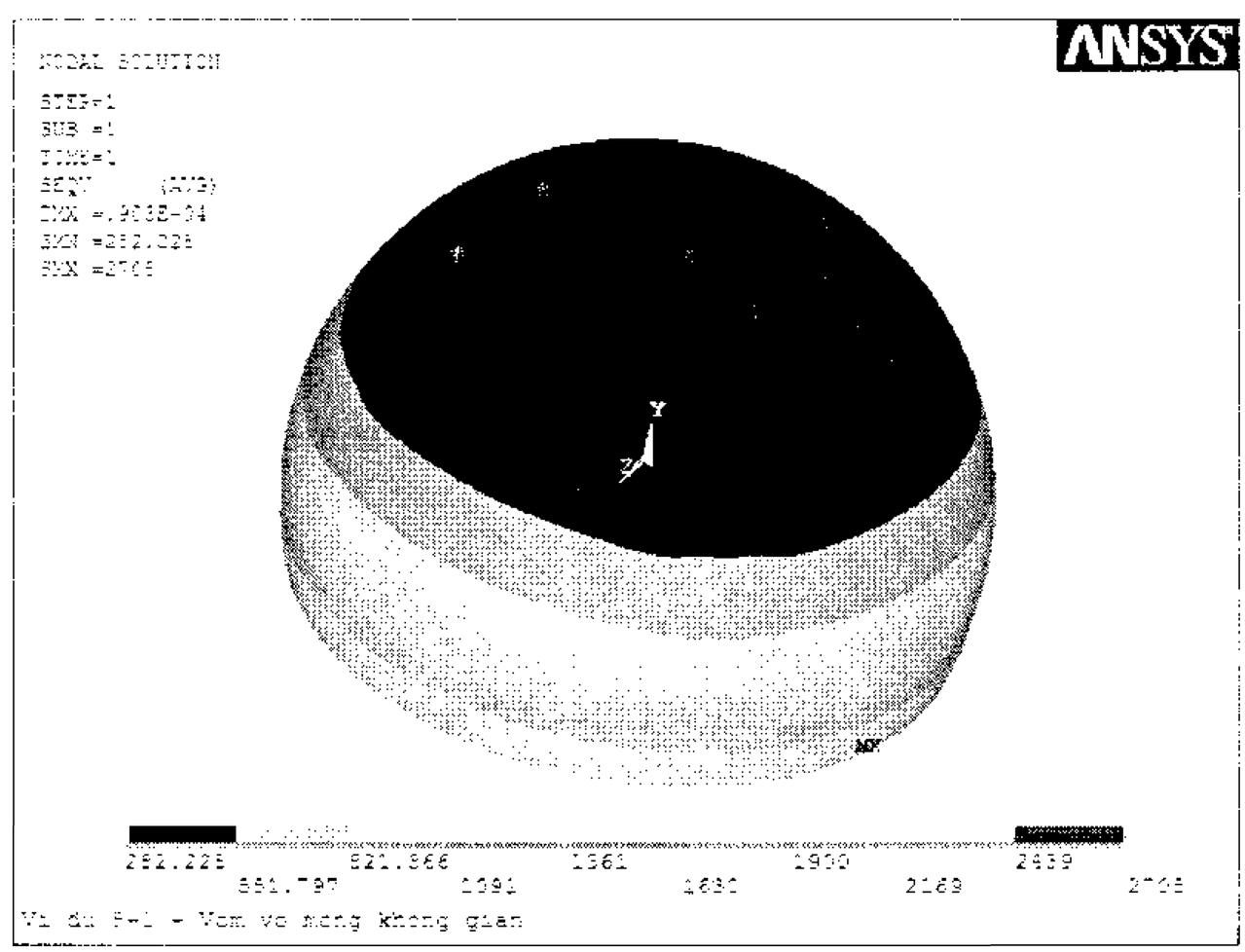
b) Khai thác kết quả tính toán

- *Hiển thị phổ chuyển vị theo phương Y:* General Postproc > Contour Plot Results > Nodal Solution > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data > Nodal Solution > DOF Solution > Y-Component of Displacement > OK > Ta có phổ mầu chuyển vị theo phương Y như ở hình 5.19. Chuyển vị đứng lớn nhất SMX=0.903E-4m.



Hình 5.19. *Phổ chuyển vị vòm vỏ mỏng theo phương Y*

- *Hiển phổ ứng suất tương đương:* General Postproc > Plot Result > Contour Plot > Nodal Solu > Xuất hiện bảng Contour Nodal Solution Data > Nodal Solution > Stress > von Mises stress > OK > Phổ mầu ứng suất tương đương như ở hình 5.20.



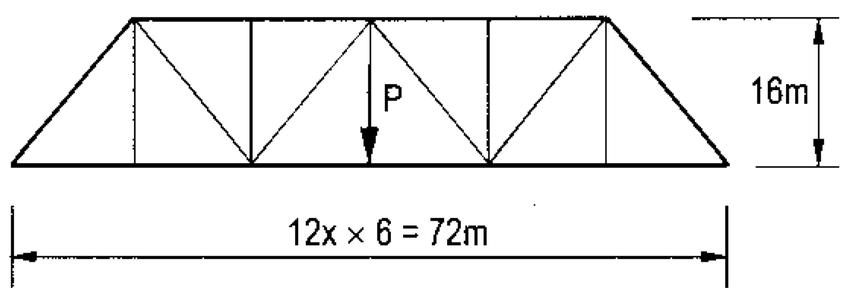
Hình 5.20. *Phổ ứng suất tương đương vòm vỏ mỏng*

2. Thực hiện theo phương thức COMMAND

```
FINI
/CLE
*AFUN,DEG
/PREP7
ET,1,63                          !Phần tử SHELL63
R,1,0.045                        !Vỏ cầu, bản liên tục
MP,EX,1,2.094E8                  !Mô đun vật liệu vỏ cầu
MP,PRXY,1,0.262                  !Hệ số Poisson vật liệu vỏ cầu
MP,DENS,1,7.83                   !Khối lượng riêng vật liệu vỏ cầu
CSYS,1                           !Kích hoạt hệ tọa độ trụ K, 1, 8, 90
K,2,8,0                          !Xây dựng mô hình
K,3,8,-30
K,100
L,1,2
L,2,3
AROTAT,1,2,,,,,1,100,360         !Phân chia mạng lưới phần tử
AESIZE,ALL,1
CSYS
MSHAPE,0
MSHKEY,1
AMESH,ALL                        !Gán điều kiện biên
NSEL,S,LOC,Y,8*SIN(-30)          !Lựa chọn tất cả các điểm nút biên đáy vòm
D,ALL,UX
D,ALL,UY
D,ALL,UZ
ALLSEL
ACEL,0,9.81,0                    !Gán gia tốc trọng trường
/SOLU                            !Tính toán
ANTYPE,STATIC
SOLVE
SAVE                             !Khai thác kết quả
FINI
/POST1
PLNSOL,U,Y
PLNSOL,S,EQV
```

• **Ví dụ 5.2. Phân tích cầu giàn thép chịu lực tĩnh**

Cầu giàn thép cho ở hình 5.21, tổng chiều dài cầu 72m chia làm 6 khoảng mắt, mỗi khoảng 12m, bề rộng cầu là 10m, chiều cao cầu 16m, bản mặt cầu bằng bê tông có chiều dày là 0.3m. Cầu chịu 2 lực tập trung P = 100kN ở giữa cánh hạ 2 giàn chính. Quy cách các thanh giàn gồm 3 loại thép chữ I cho ở bảng 5.5. Thuộc tính vật liệu thép và bê tông cho ở bảng 5.6.



Hình 5.21. Kích thước cầu giàn thép

Bảng 5.5. Quy cách cấu kiện thanh giàn thép

Cấu kiện thanh	Mã số mặt cắt	Hình thức	Quy cách
Thanh đầu giàn	1	Thép hình chữ I	400×400×16×16
Thanh cánh thượng hạ	2	Thép hình chữ I	400×400×12×12
Thanh nối ngang	2	Thép hình chữ I	400×400×12×12
Các thanh bụng giàn	3	Thép hình chữ I	400×300×12×12

Bảng 5.6. Thuộc tính vật liệu

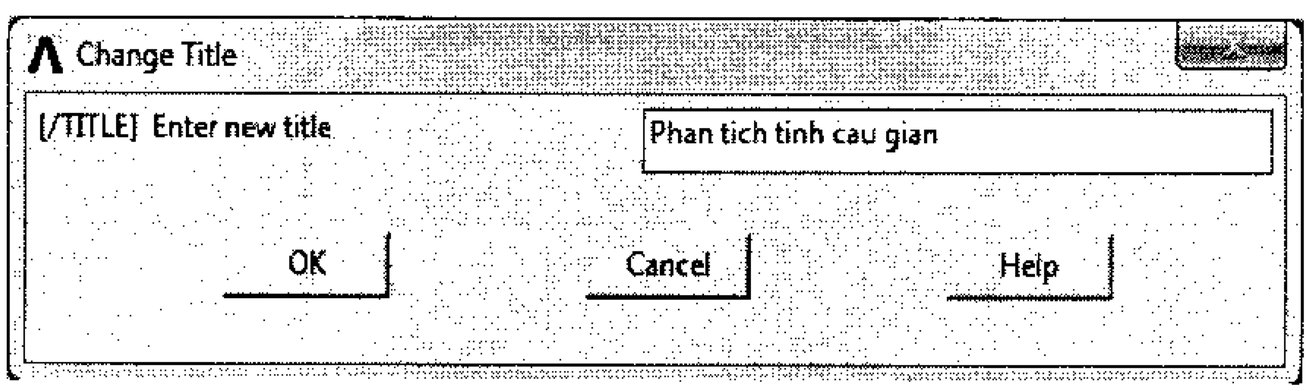
Tham số	Vật liệu thép	Vật liệu bê tông
Mô đun đàn hồi EX (kN/m^2)	2.1×10^8	3.5×10^7
Hệ số Poisson PRXY	0.3	0.1667
Trọng lượng riêng (kN/m^3)	77	24.5

1. Thực hiện theo phương thức GUI

a) Thiết lập môi trường vật lý

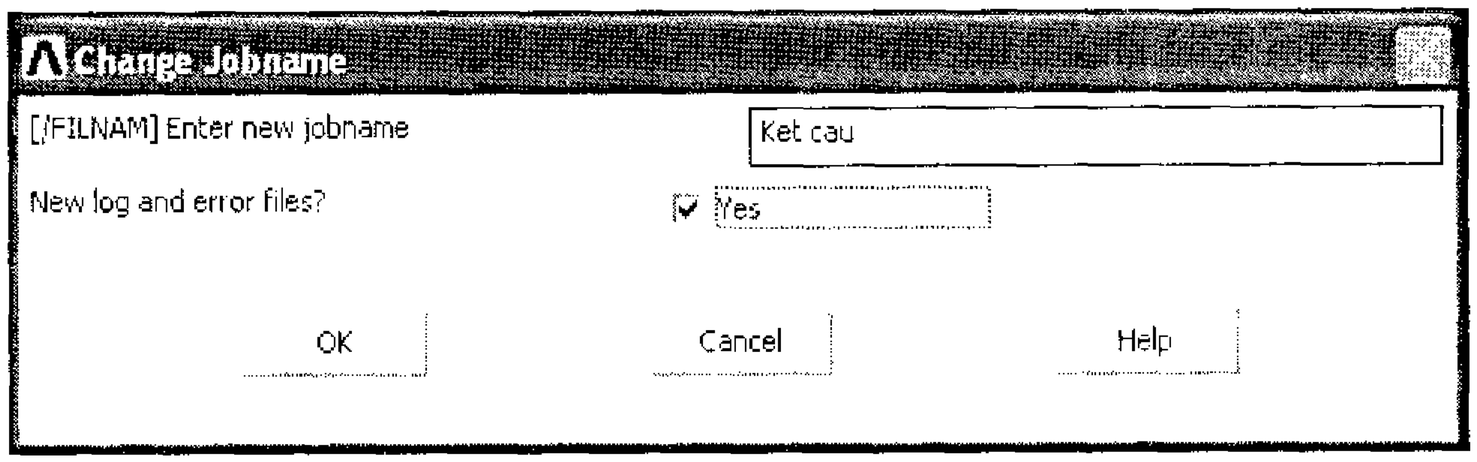
- *Giới hạn hiển thị màn hình đồ hoạ:* Từ Menu Main Menu > Preference > Xuất hiện cửa sổ Preferences for GUI Filtering, nhấn lựa chọn hạng mục Structural.

- *Đặt tiêu đề công việc:* Utility Menu > File > Change Title > Xuất hiện cửa sổ Change Title, nhập tên công việc Phan tich tinh cau gian như hình 5.22, sau đó nhấn OK.



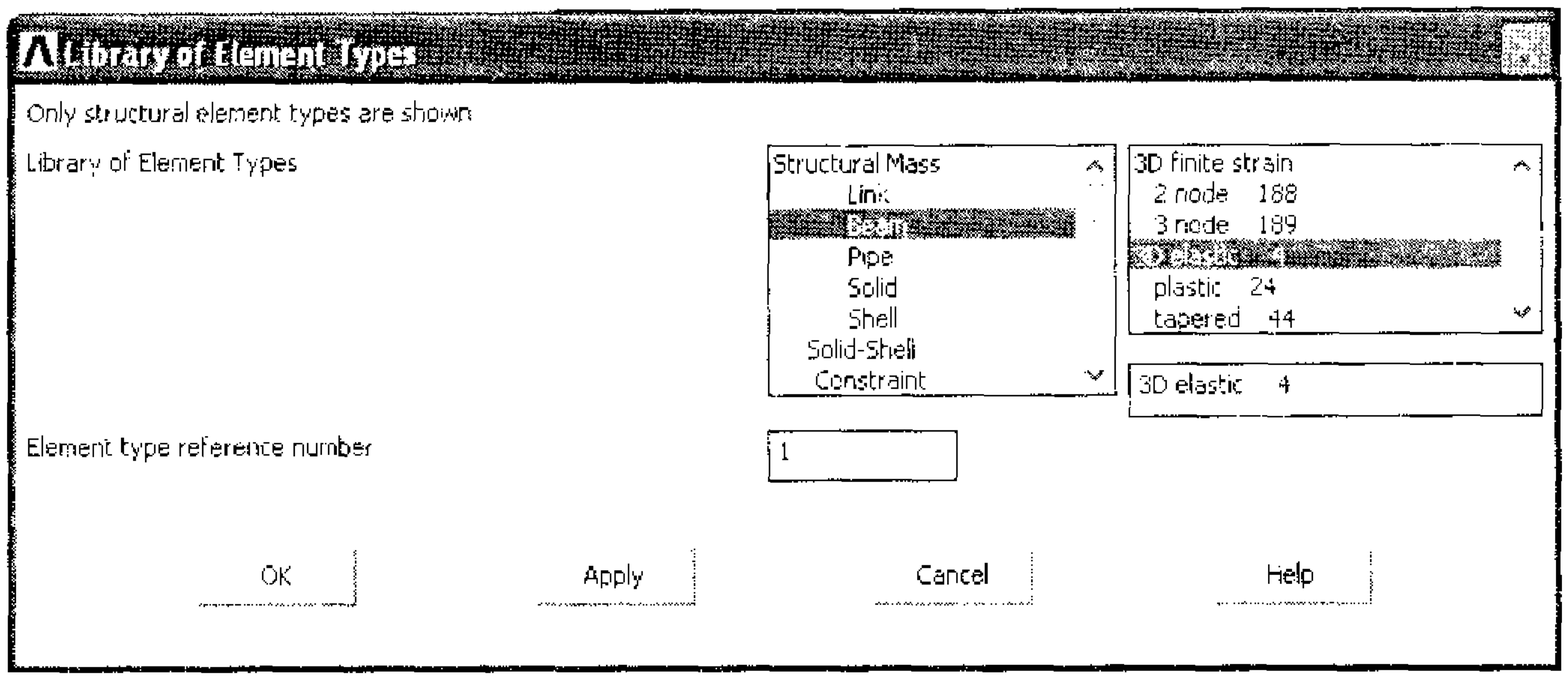
Hình 5.22. Định nghĩa tiêu đề công việc

- *Đặt tên file bài toán:* Utility Menu > File > Change Jobname > xuất hiện cửa sổ Change Jobname, trong Enter new jobname nhập tên văn bản Ket cau, trong New log and error files lựa chọn Yes sau đó nhấn OK như hình 5.23.

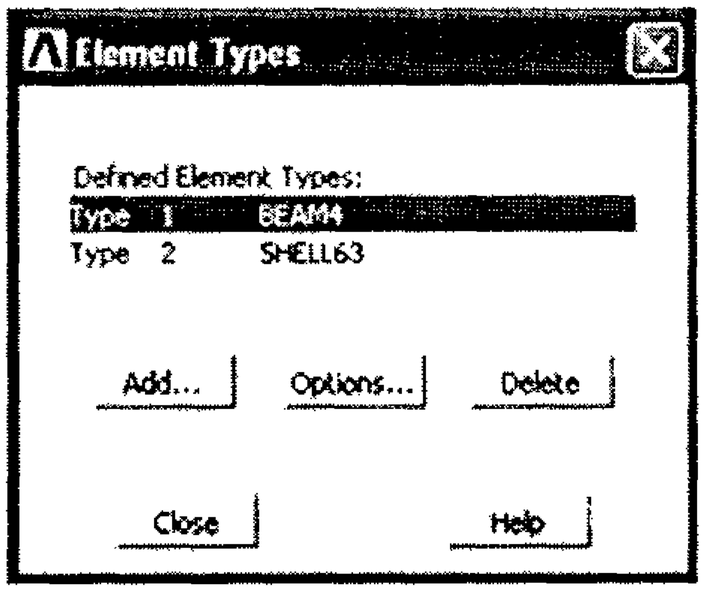


Hình 5.23. *Đặt tên file bài toán*

- *Chọn loại hình phần tử và gán thuộc tính cho phần tử:* Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Xuất hiện cửa sổ Element Types > Nhấn Add > Xuất hiện bảng Library of Element Types. Trong cửa sổ nhỏ bên trái chọn Beam tương ứng bên phải lựa chọn 3D elastic 4 như hình 5.24 > Nhấn Apply → Hoàn thành định nghĩa phần tử BEAM4. Tiếp tục trong cửa sổ nhỏ bên trái hình 5.24 chọn Shell tương ứng bên phải chọn Elastic 4node 63 > Nhấn OK → Hoàn thành định nghĩa phần tử SHELL63, kết quả thu được như hình 5.25. Cuối cùng nhấn Close đóng cửa sổ Element Types.



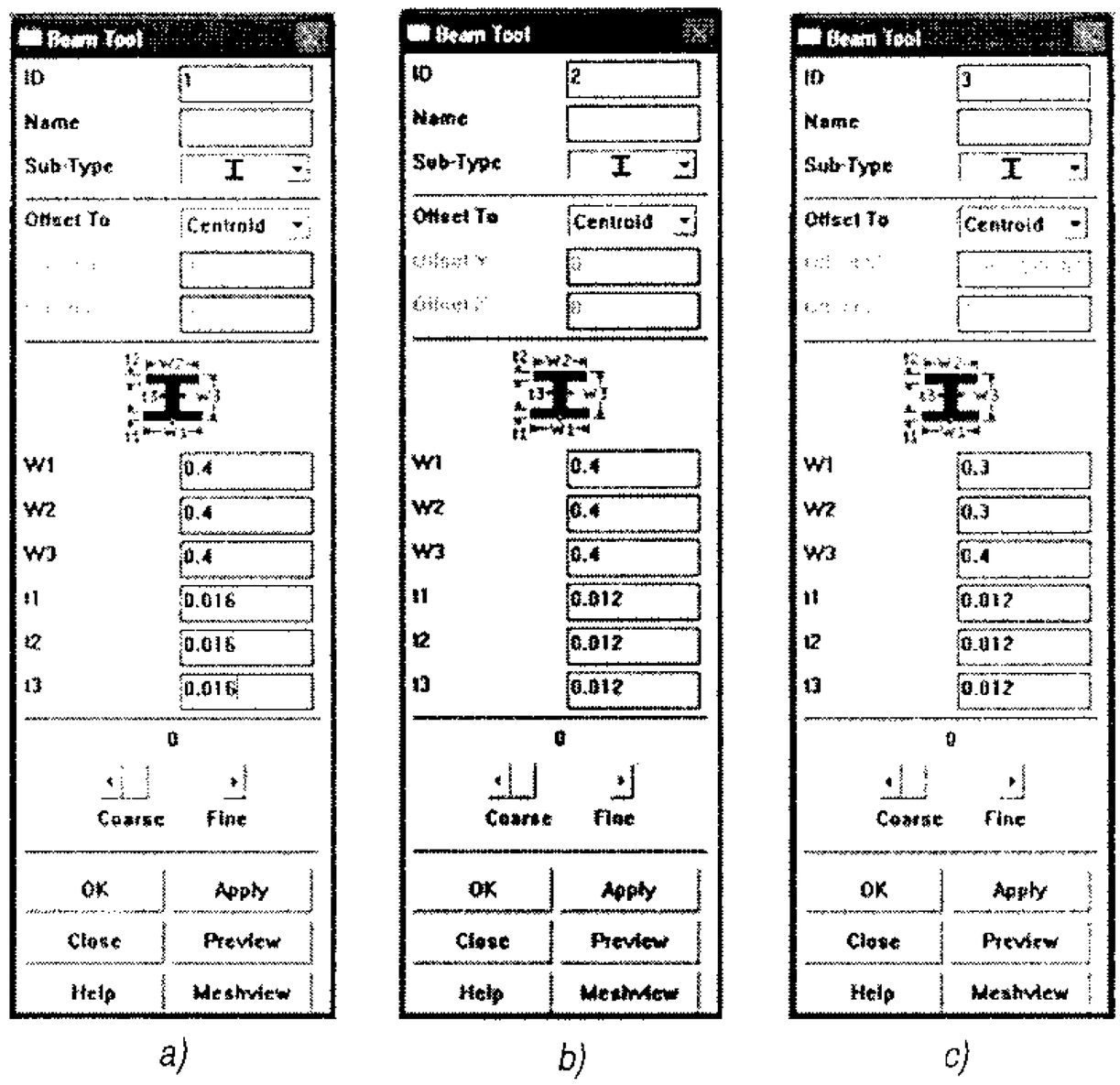
Hình 5.24. *Kho lựa chọn loại hình phần tử kết cấu*



Hình 5.25. *Chọn loại phần tử cho mô hình cầu giàn*

- *Định nghĩa mặt cắt phần tử thanh:* Main Menu > Preprocessor > Sections > Beam > Common Sections > Xuất hiện cửa sổ Beam Tool, dựa vào như hình 5.26a tiến hành gán kích thước mặt cắt chữ I 400×400×16×16, sau đó nhấn Apply. Dựa vào hình 5.26b tiến hành nhập kích thước mặt cắt chữ I 400×400×12×12; sau đó nhấn Apply. Tiếp tục dựa vào hình 5.26c nhập kích thước mặt cắt chữ I 400×300×12×12, cuối cùng nhấn OK.

Mỗi lần sau khi định nghĩa xong có thể nhấn nút [Preview] để xem đặc trưng hình học của tiết diện. Đặc trưng hình học tiết diện của 3 loại thép chữ I cho ở bảng 5.7.



Hình 5.26. *Định nghĩa 3 loại mặt cắt thanh giàn*

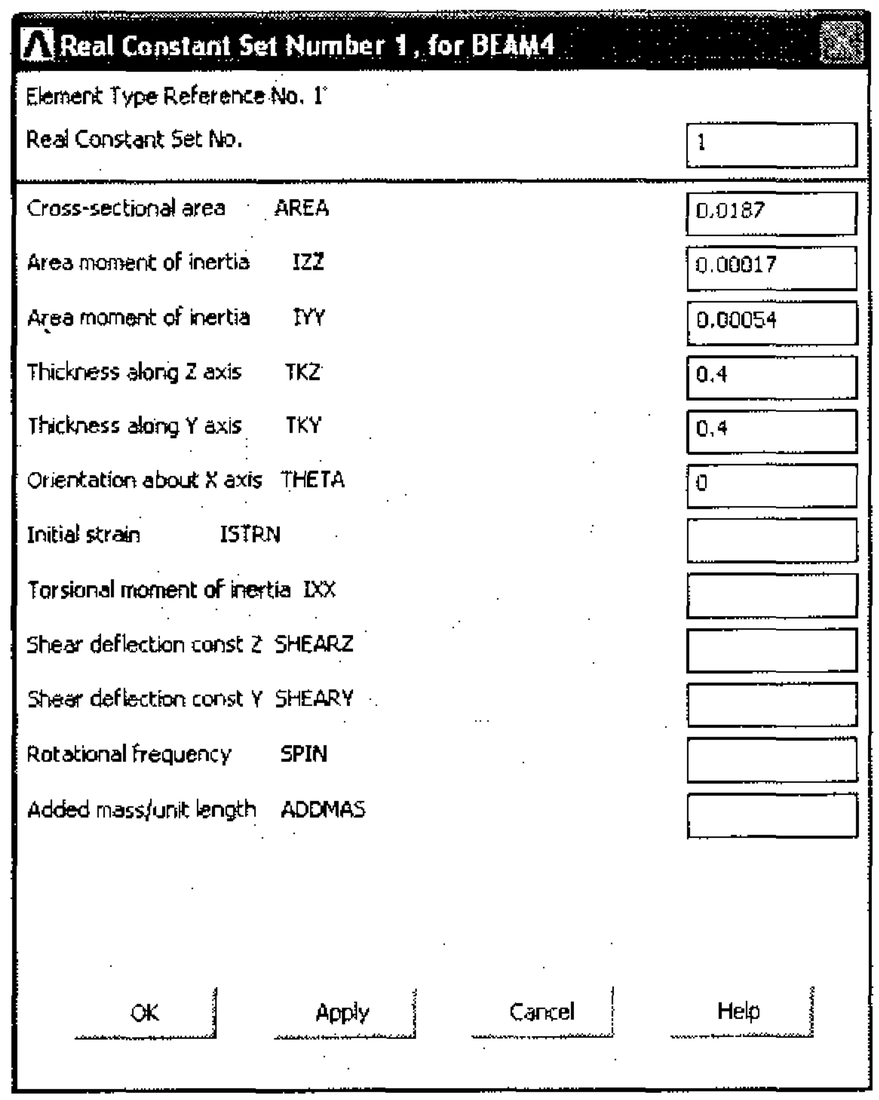
Bảng 5.7. Đặc trưng hình học tiết diện chữ I

Thép chữ I	AREA (m^2)	IZZ (m^4)	IYY (m^4)	TKZ (m)	TKY (m)
I400×400×16×16	0.0187	0.00017	0.00054	0.4	0.4
I400×400×12×12	0.0141	0.000128	0.000415	0.4	0.4
I400×300×12×12	0.0117	0.0000541	0.000324	0.3	0.4

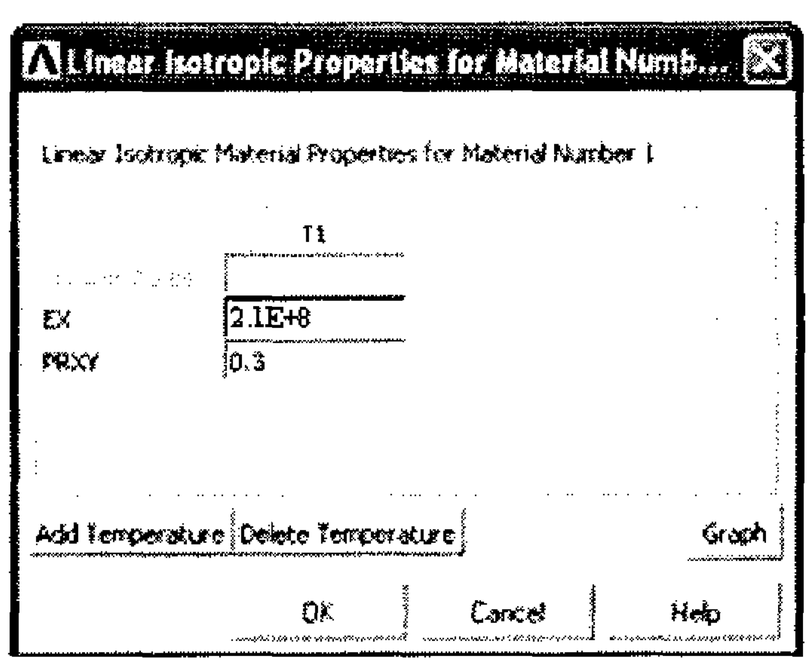
- *Định nghĩa hằng số thực phần tử:* Main Menu > Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete > Xuất hiện cửa sổ Real Constants > Add > Xuất hiện cửa sổ Element Type for Real Constants, chọn Type 1 BEAM4 > OK, tiếp tục xuất hiện cửa sổ Real Constants Set Number 1, for BEAM4 > Nhập các số liệu như hình 5.27 > OK > OK. Tiếp tục nhấn Add thiết lập hằng số thực 2, trong Element Type for Real Constants > Chọn Type 1 BEAM4 > OK, trong Real Constants Set Number 2, for BEAM4 nhập lần lượt các giá trị 2, 0.0141, 0.128e-3, 0.415e-3, 0.4, 0.4 > OK. Tiếp tục nhấn Add thiết lập hằng số thực 3, trong Element Type for Real Constants chọn Type 1 BEAM4 > OK, trong Real Constants Set Number 3, for BEAM4 nhập lần lượt các giá trị 3, 0.0117,

0.541e-4, 0.324e-3, 0.3, 0.4 > OK. Tiếp tục nhấn Add thiết lập hằng số thực 4, trong Element Type for Real Constants chọn Type 2 SHELL63 > OK, trong cửa sổ Real Constants Set Number 4, for SHELL63 tại TK(I) nhập giá trị 0.3 > OK. Cuối cùng nhấn Close đóng cửa sổ khai báo hằng số thực.

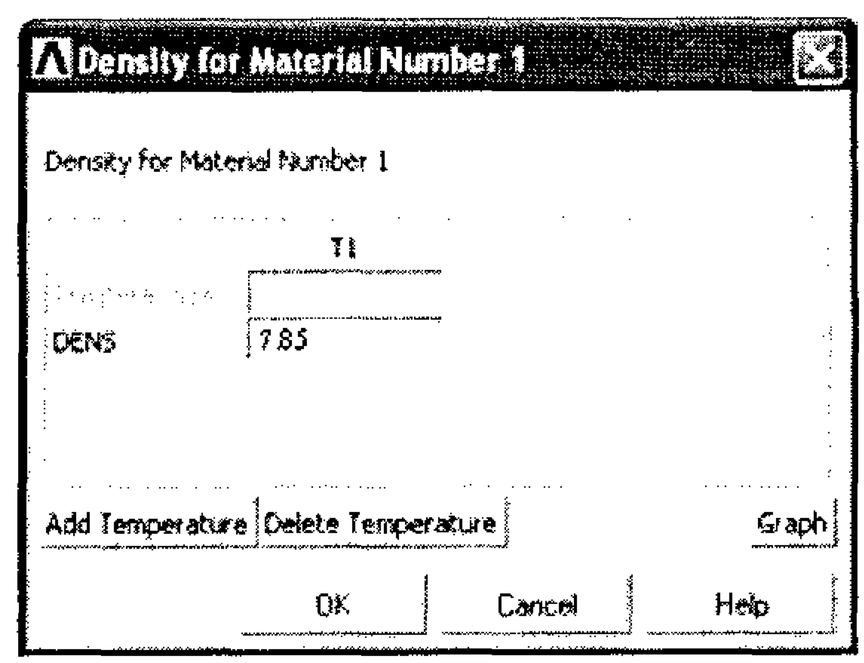
- *Định nghĩa thuộc tính vật liệu:* Main Menu > Preprocessor > Material Props > Material Models > Xuất hiện cửa sổ Define Material Model Behavior, trong cửa sổ bên phải sau khi nhấn đúp theo đường dẫn Structural > Linear > Elastic > Isotropic > Xuất hiện cửa sổ Linear Isotropic Properties for Material Number 1 như hình 5.28, trong cửa sổ nhập giá trị EX = 2.1E8 nhập giá trị PRXY = 0.3 > OK đóng cửa sổ khai báo. Tiếp tục trong cửa sổ Define Material Model Behavior nhấn đúp vào Density xuất hiện cửa sổ Density for Material Number 1 như hình 5.29, trong cửa sổ nhập giá trị DENS = 7.85 > OK đóng cửa sổ khai báo.



Hình 5.27. *Định nghĩa hằng số thực thứ nhất*

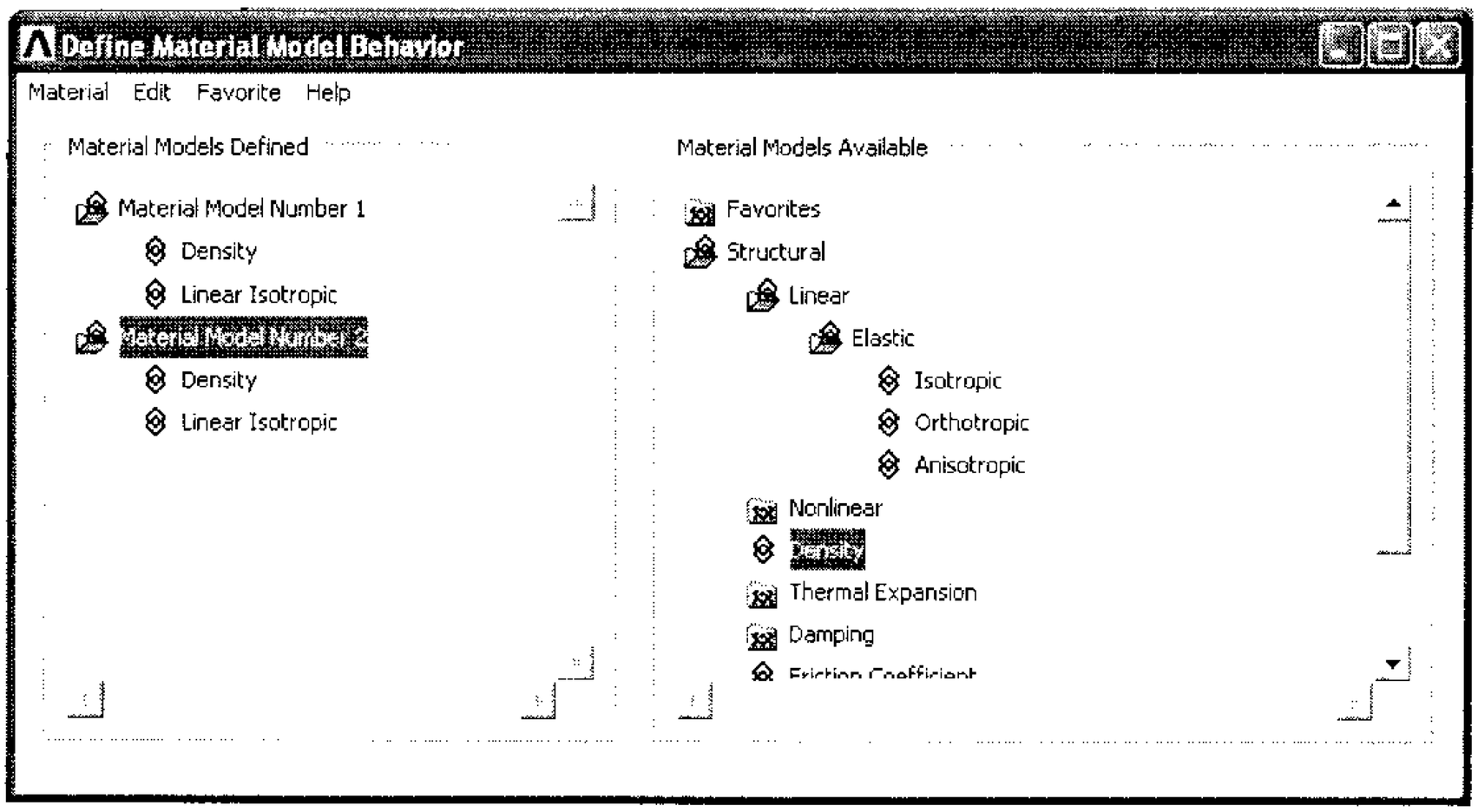


Hình 5.28. *Nhập E, ν cho vật liệu 1*



Hình 5.29. *Nhập khối lượng vật liệu 1*

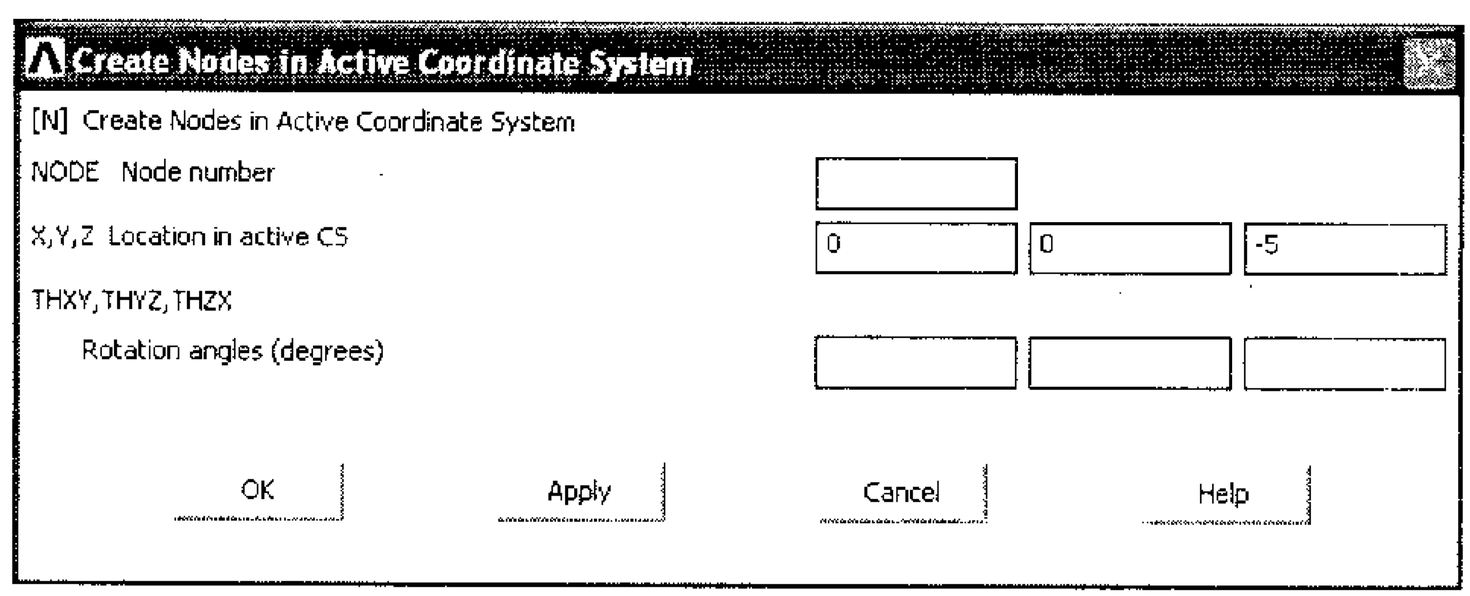
Sau khi gán xong thuộc tính cho vật liệu thép, tiếp tục gán cho vật liệu bê tông bản mặt cầu. Trong cửa sổ Define Material Model Behavior, từ Material > New model chọn mã số mặc định là 2 sau đó nhấn OK. Lúc này trong cửa sổ Define Material Model Behavior phía bên trái xuất hiện Material Model Number 2, phương pháp thiết lập thuộc tính cho vật liệu này giống như vật liệu 1, trong cửa sổ Linear Isotropic Properties for Material Number 2 nhập giá trị EX = 3.5E7, nhập giá trị PRXY = 0.1667, trong cửa sổ Density for Material Number 2 nhập giá trị DENS = 2.5 > OK. Để kết thúc quá trình khai báo được thực hiện như ở hình 5.30. Cuối cùng đóng cửa sổ Define Material Model Behavior.



Hình 5.30. *Định nghĩa thuộc tính vật liệu*

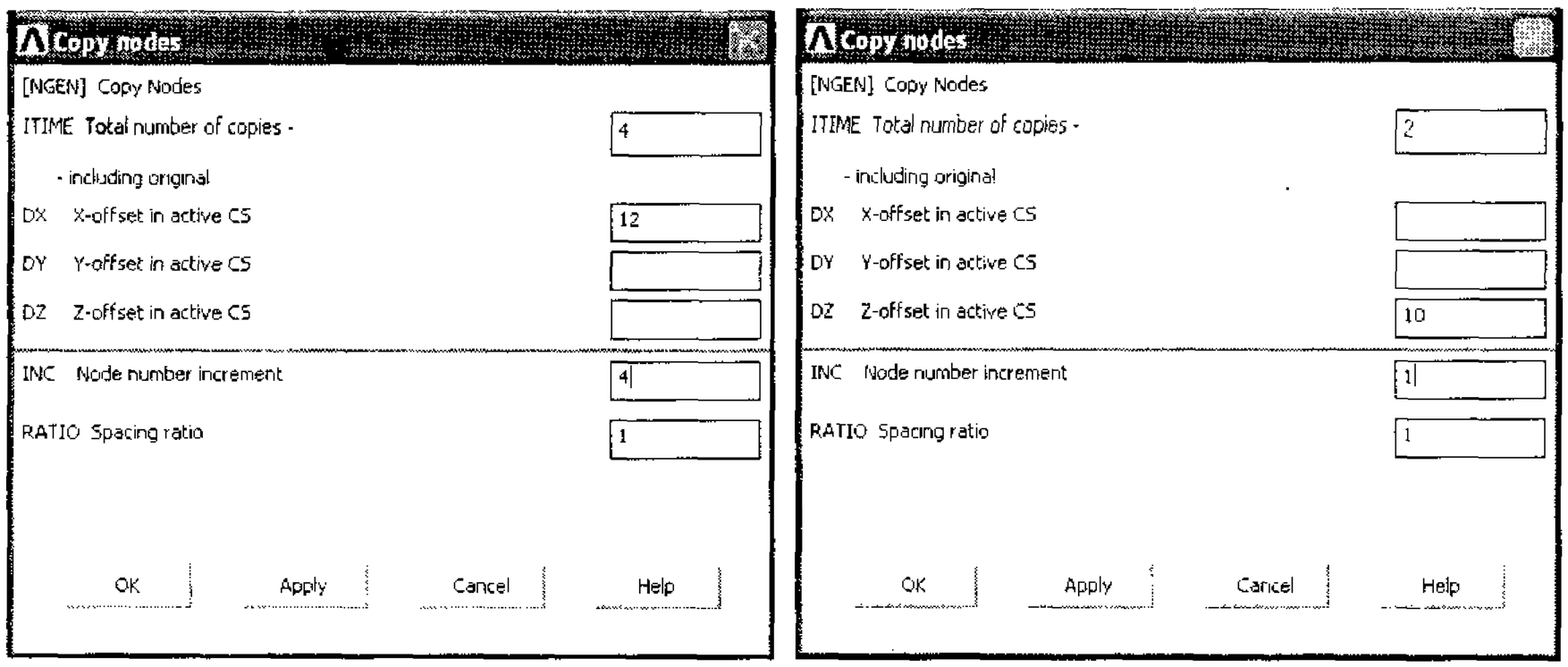
b) Xây dựng mô hình phần tử hữu hạn

- *Tạo điểm nút một nửa dầm cầu:* Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Nodes > In Active CS > Xuất hiện cửa sổ Create Nodes in Active Coordinate System, trong X, Y, X Location in active CS nhập giá trị toạ độ (0,0,-5) > OK như hình 5.31.



Hình 5.31. *Thiết lập điểm nút*

- *Nhân bản điểm nút*: Main Menu > Preprocessor > Modeling > Copy > Nodes > Copy > Xuất hiện cửa sổ chọn nút, nhấn Pick All tiếp tục xuất hiện cửa sổ Copy Nodes, sau đó nhập các giá trị như hình 5.32. Kết thúc nhấn OK.

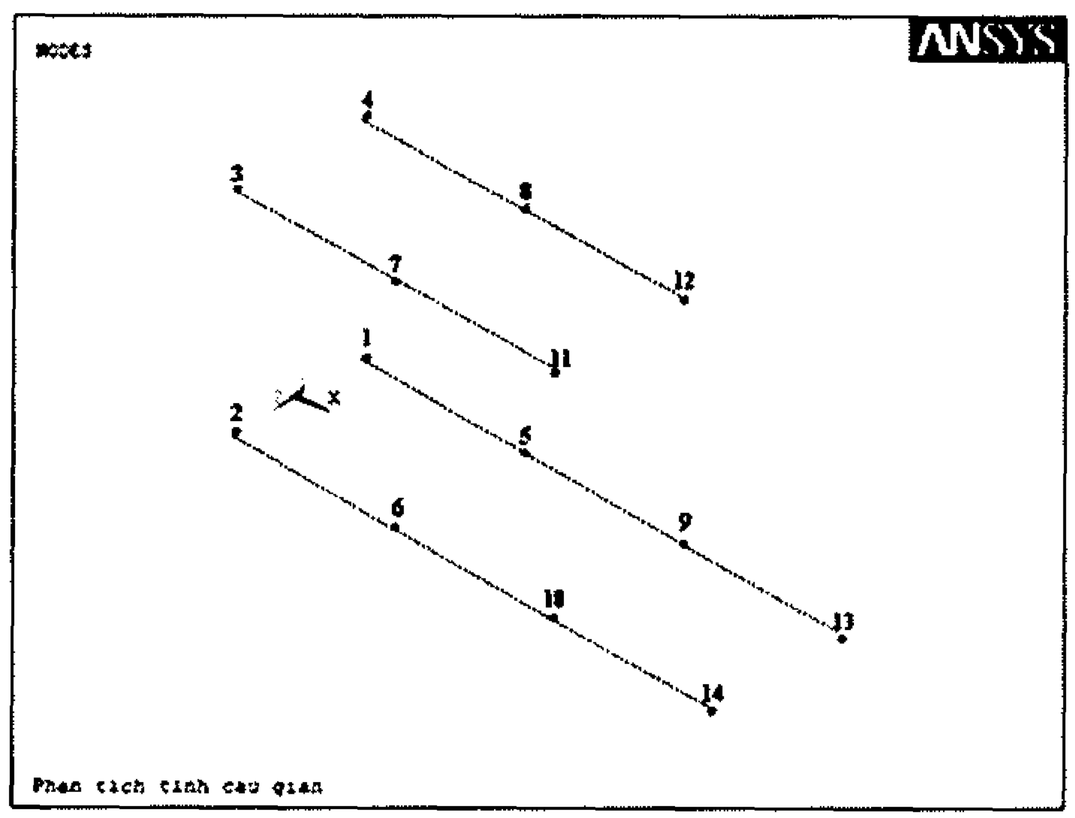


(a) *(b)*

Hình 5.32. *Sao chép điểm nút*

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Copy > Nodes > Copy > Xuất hiện cửa sổ chọn nút, dùng chuột lựa chọn các điểm nút 2, 6, 10 trên màn hình đồ hoạ sau đó nhấn OK sẽ xuất hiện cửa cửa sổ Copy Nodes, trong ITIME nhập giá trị 2, trong DY nhập giá trị 16, trong INC nhập giá trị 1, trong RATIO nhập giá trị 1, các giá trị khác để trống. Kết thúc nhấn OK.

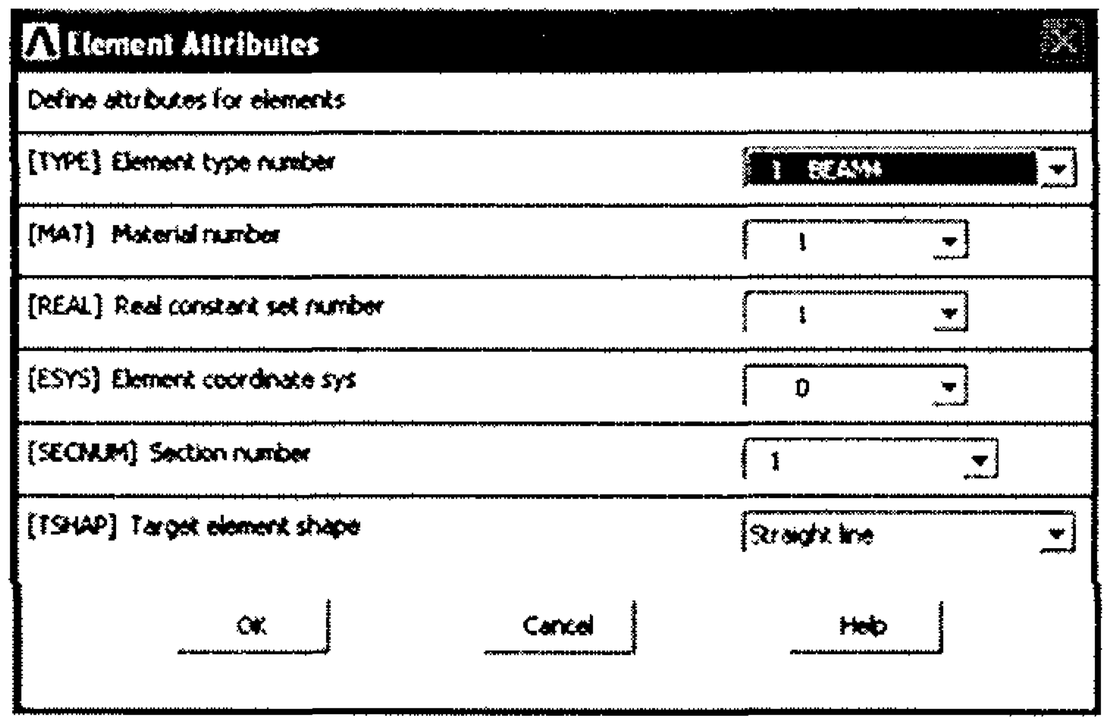
Main Menu > Preprocessor > Modeling > Copy > Nodes > Copy > Xuất hiện cửa sổ chọn nút, dùng chuột lựa chọn các điểm nút 3, 7, 11 trên màn hình đồ hoạ sau đó nhấn OK sẽ xuất hiện cửa cửa sổ Copy Nodes, trong ITIME nhập giá trị 2, trong DZ nhập giá trị -10, trong INC nhập giá trị 1, trong RATIO nhập giá trị 1, các giá trị khác để trống. Kết thúc nhấn OK. Kết quả cuối cùng trên cửa sổ màn hình ANSYS như hình 5.33.



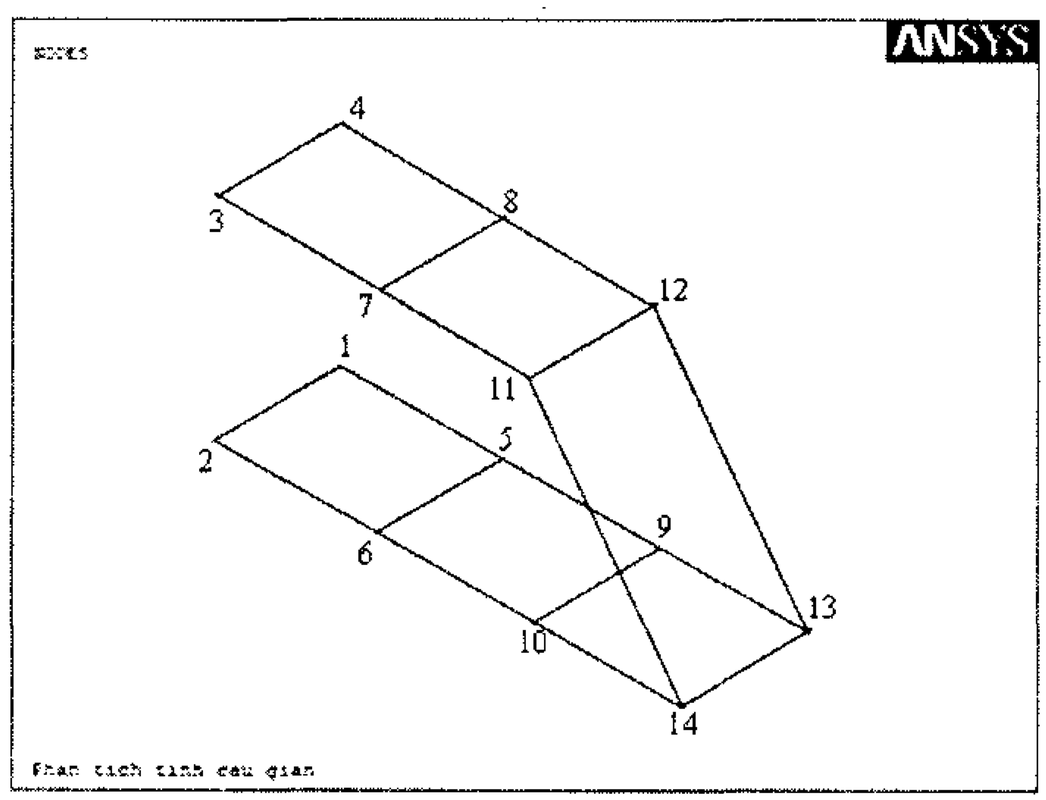
Hình 5.33. *Điểm nút của một nửa dầm cầu*

- *Tạo phần thanh đầu giàn cầu:* Chọn thuộc tính loại phần tử thứ nhất, từ Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Elements > Elem Attributes > Xuất hiện cửa sổ

Element Attributes như hình 5.34, sau khi lựa chọn thuộc tính nhấn OK để đóng cửa sổ lựa chọn. Từ Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Auto Numbered > Thru Nodes > Xuất hiện cửa sổ lựa chọn điểm nút Elem from Nodes, dùng chuột lựa chọn 2 điểm nút 11 và 14 sau đó nhấn Apply, tiếp tục lựa chọn 2 điểm nút 12 và 13 sau đó nhấn OK, biểu thị như hình 5.35.



Hình 5.34. *Lựa chọn thuộc tính phần tử*

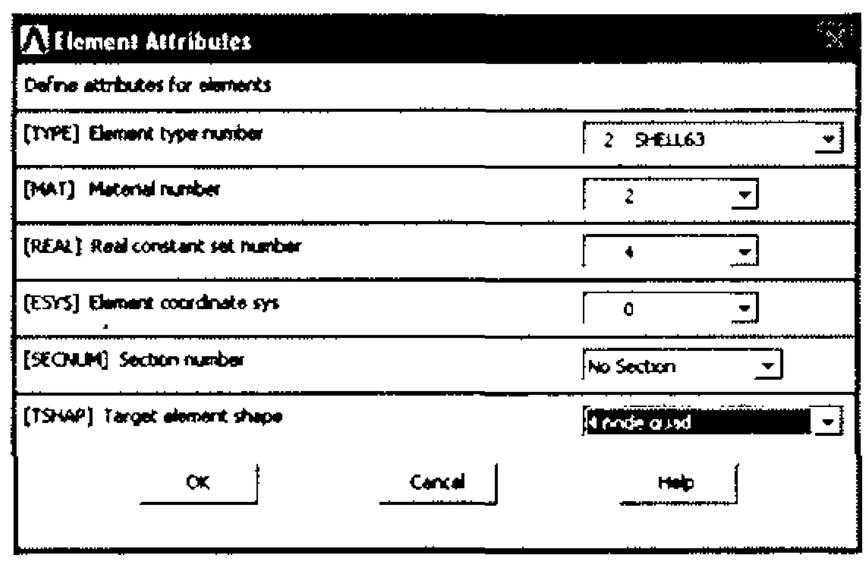


Hình 5.35. *Thiết lập phần tử thanh đầu giàn*

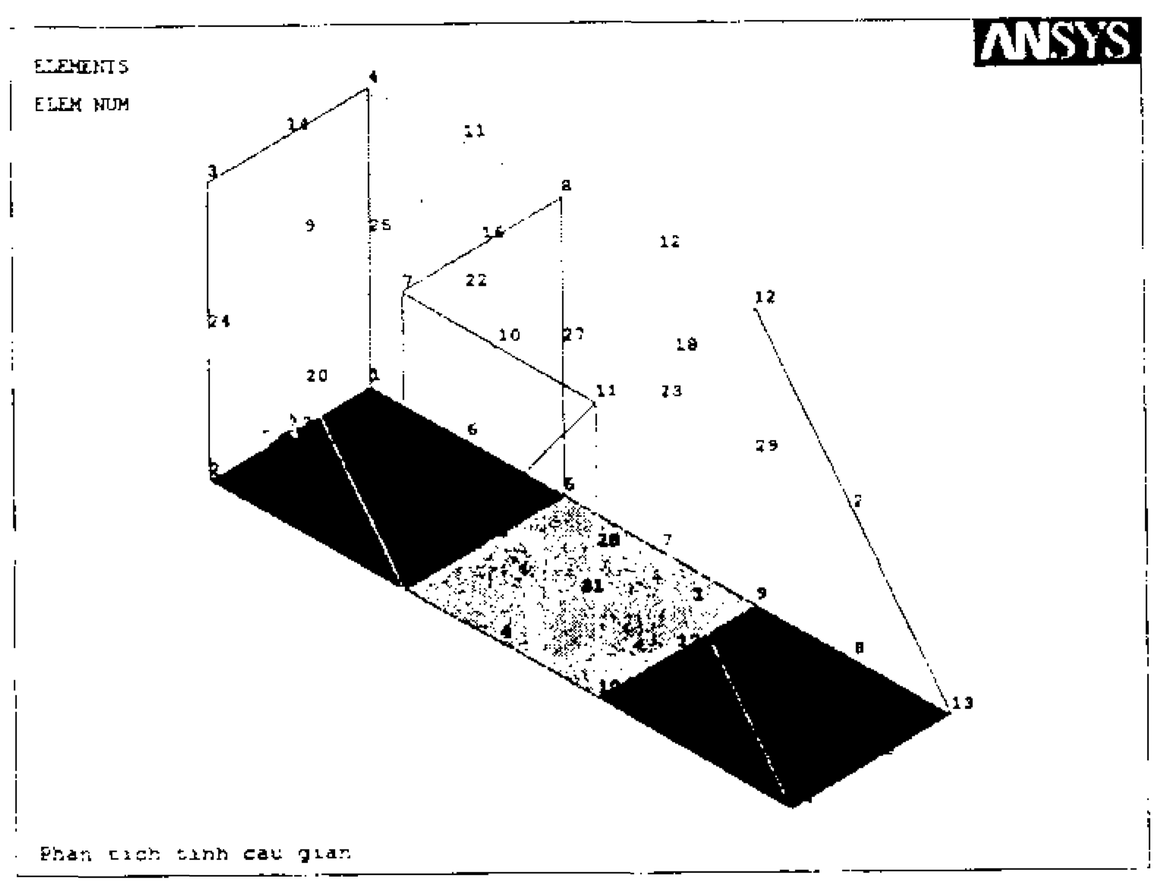
- *Tạo phần tử thanh cánh thượng hạ và các thanh ngang*: Chọn thuộc tính loại phần tử thứ hai giàn cầu từ Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Elements > Elem Attributes > xuất hiện cửa sổ Element Attributes, trong REAL lựa chọn 2, trong SECNUM lựa chọn 2, các số liệu khác không thay đổi, sau đó nhấn OK để đóng cửa sổ lựa chọn. Từ Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Auto Numbered > Thru Nodes > Xuất hiện cửa sổ lựa chọn điểm nút Elem from Nodes, dùng chuột chọn từng cặp điểm nút 2 và 6; 6 và 10; 10 và 14; 1 và 5; 5 và 9; 9 và 13; 3 và 7; 7 và 11; 4 và 8; 8 và 12; 1 và 2; 3 và 4; 5 và 6; 7 và 8; 9 và 10; 11 và 12; 13 và 14 để thiết lập phần tử. Cuối cùng nhấn OK để đóng cửa sổ thiết lập phần tử.

- *Tạo phần tử thanh bụng giàn*: Chọn thuộc tính loại phần tử thứ ba giàn cầu từ Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Elements > Elem Attributes > Xuất hiện cửa sổ Element Attributes, trong REAL lựa chọn 3, trong SECNUM lựa chọn 3, các số liệu khác không thay đổi > OK để đóng cửa sổ lựa chọn. Vẽ thanh giàn từ Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Auto Numbered > Thru Nodes > Xuất hiện cửa sổ lựa chọn điểm nút Elem from Nodes, dùng chuột lựa chọn từng cặp điểm nút 3 và 6; 6 và 11; 4 và 5; 5 và 12; 2 và 3; 1 và 4; 6 và 7; 5 và 8; 10 và 11; 9 và 12 để thiết lập phần tử. Cuối cùng nhấn OK để đóng cửa sổ thiết lập phần tử.

- *Tạo phần tử bản mặt cầu:* Lựa chọn thuộc tính loại phần tử thứ tư từ Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Elements > Elem Attributes > Xuất hiện cửa sổ Element Attributes, trong TYPE chọn 2 SHELL63, trong MAT chọn 2, trong REAL lựa chọn 4, trong SECNUM lựa chọn No Section, trong TSHAP lựa chọn 4 node quad, các số liệu khác không thay đổi như hình 5.36, sau đó nhấn OK để đóng cửa sổ lựa chọn. Tiếp theo vẽ phần tử Shell từ Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Auto Numbered > Thru Nodes > Xuất hiện cửa sổ chọn điểm nút Elem from Nodes, dùng chuột lựa chọn từng nhóm điểm nút 1, 2, 6 và 5; 5, 6, 10 và 9; 9, 10, 14 và 13 để tạo 3 phần tử vỏ. Cuối cùng nhấn OK để đóng cửa sổ tạo phần tử vỏ, biểu thị như hình 5.37.

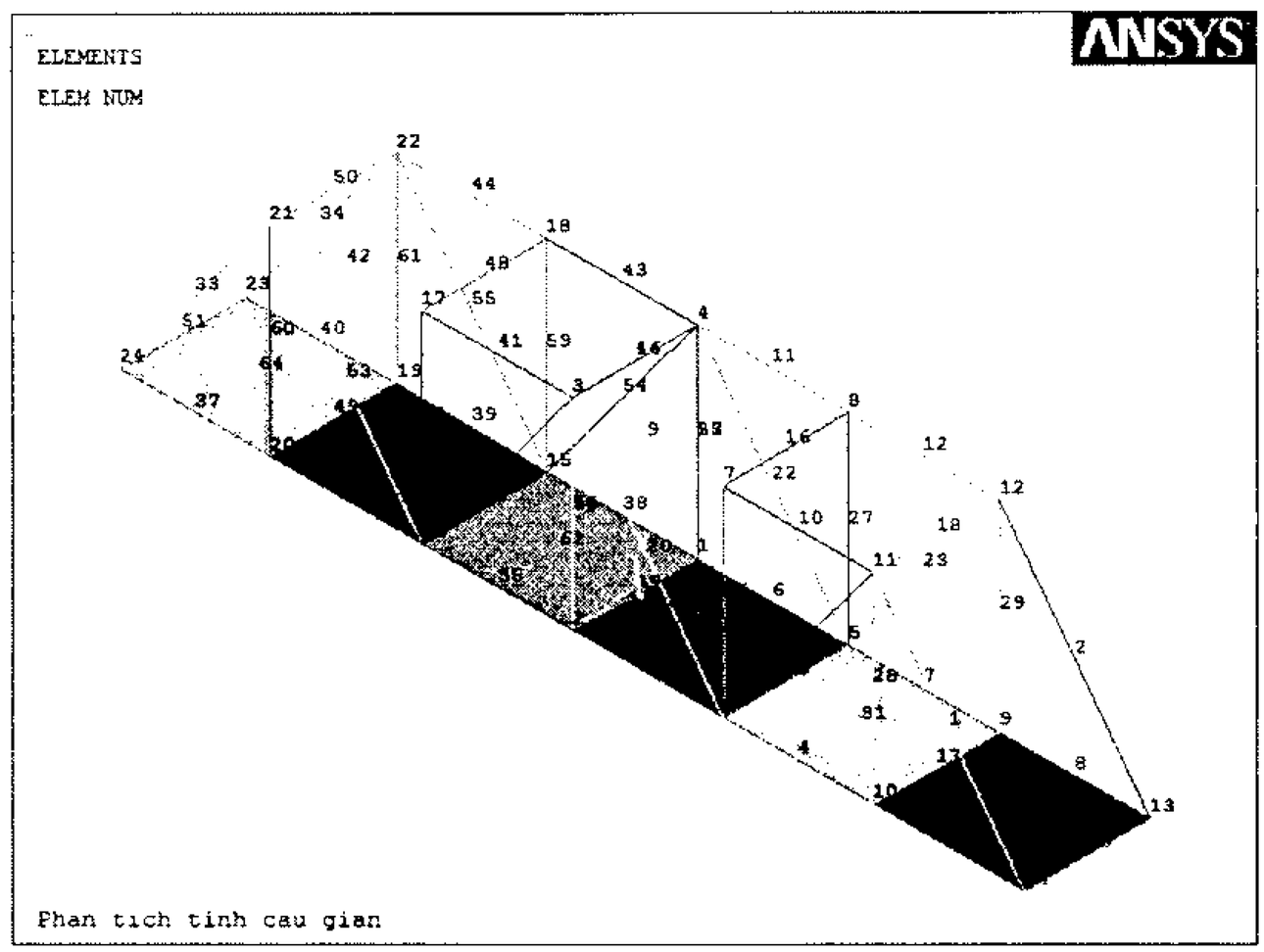


Hình 5.36. *Lựa chọn thuộc tính phần tử bản mặt cầu*



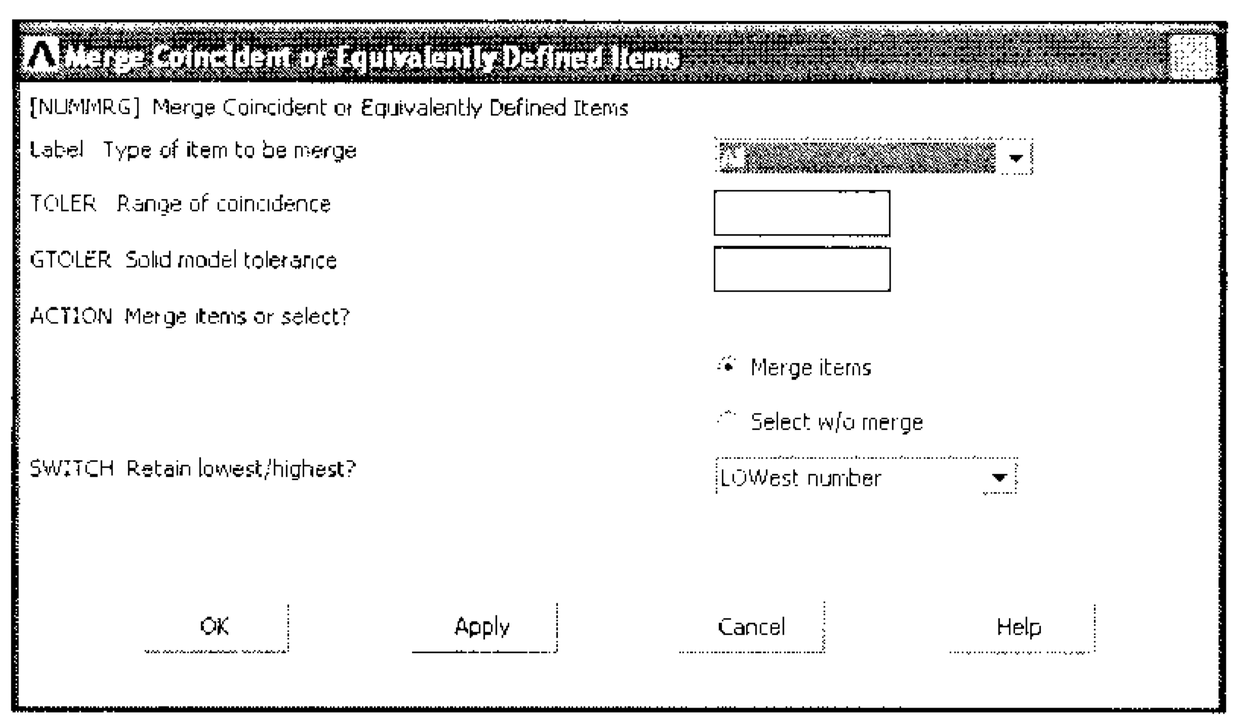
Hình 5.37. *Mô hình hóa một nửa cầu*

- *Tạo mô hình tính toán cho toàn kết cấu cầu:* Tạo đối xứng điểm nút từ Main Menu > Preprocessor > Modeling > Reflect > Nodes > Xuất hiện cửa sổ lựa chọn Reflect Nodes, tiếp tục nhấn Pick All. Trong cửa sổ tiếp theo lựa chọn Y-Z plane, trong INC nhập giá trị 14, cuối cùng nhấn OK. Tạo đối xứng phần tử từ Main Menu > Preprocessor > Modeling > Reflect > Elements > Auto Numbered > Xuất hiện cửa sổ lựa chọn Reflect Elems, tiếp tục nhấp Pick All. Trong cửa sổ tiếp theo tại INC nhập giá trị 14, cuối cùng nhấn OK như hình 5.38.

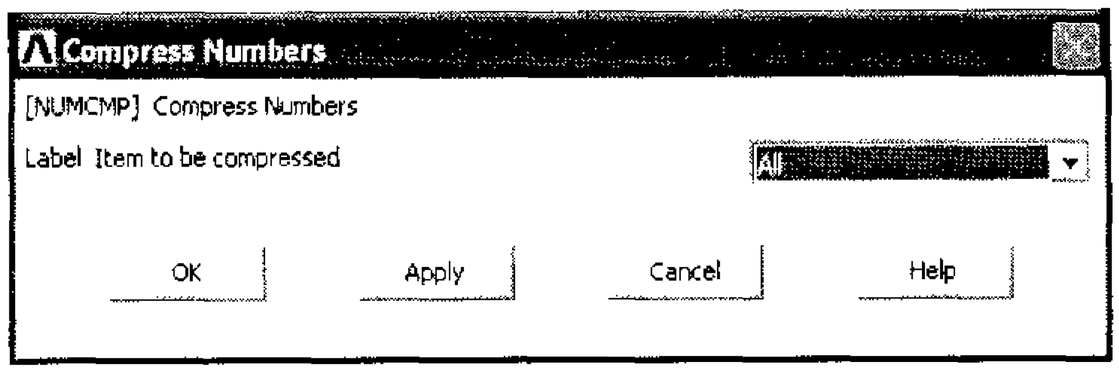


Hình 5.38. *Phần tử toàn bộ kết cấu cầu*

- *Hợp nút và hợp phần tử trùng nhau:* Từ Main Menu > Preprocessor > Numbering Ctrls > Merge Items > Xuất hiện cửa sổ Merge Coincident or Equivalently Defined Items, trong Label lựa chọn All sau đó nhấn OK đóng cửa sổ như hình 5.39. Từ Main Menu > Preprocessor > Numbering Ctrls > Compress Number > xuất hiện cửa sổ Compress Numbers, trong Label lựa chọn All sau đó nhấn OK đóng cửa sổ Compress Numbers như hình 5.40.



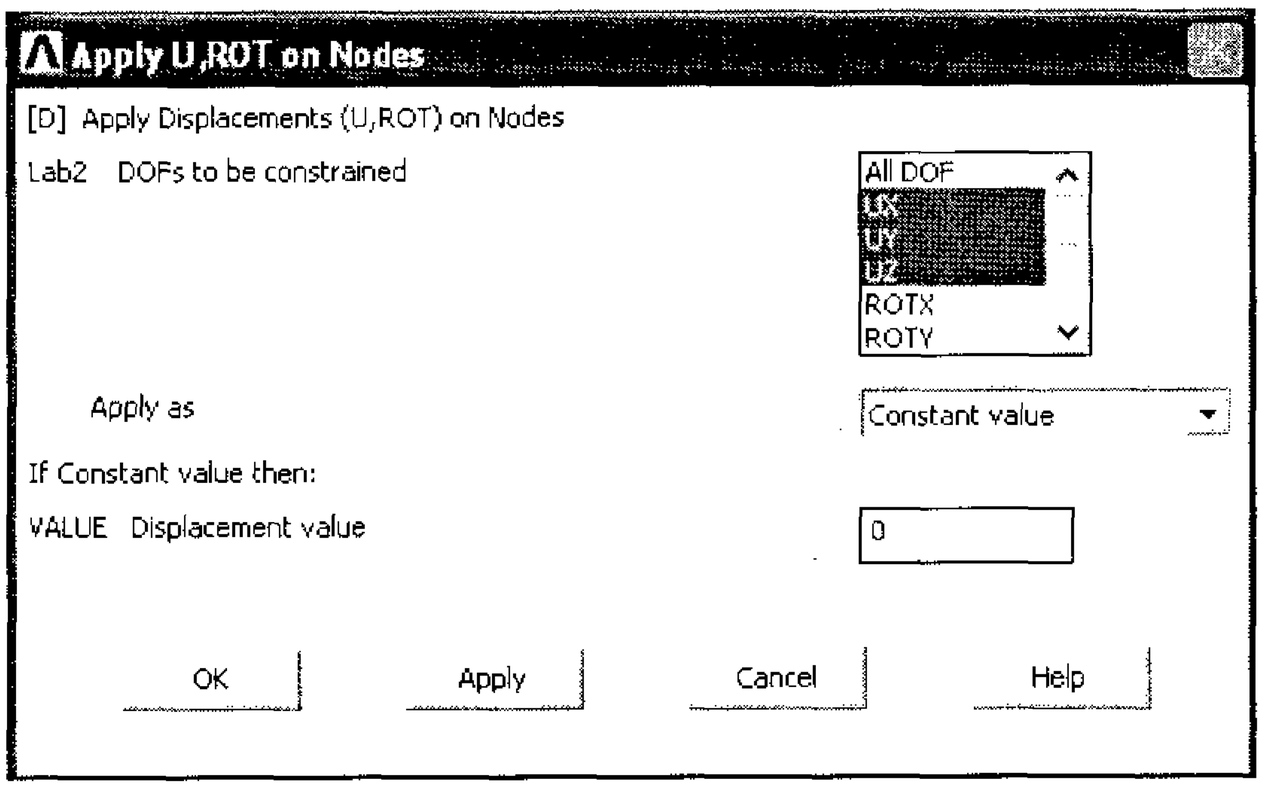
Hình 5.39. *Hợp nhất nút và phần tử trùng nhau*



Hình 5.40. *Nén giảm mã số*

- *Lưu file mô hình:* Utility Menu > File > Save as > xuất hiện cửa sổ Save Database, trong Save Database to nhập tên file là Ketcau_mohinh.db, sau đó nhấn OK.

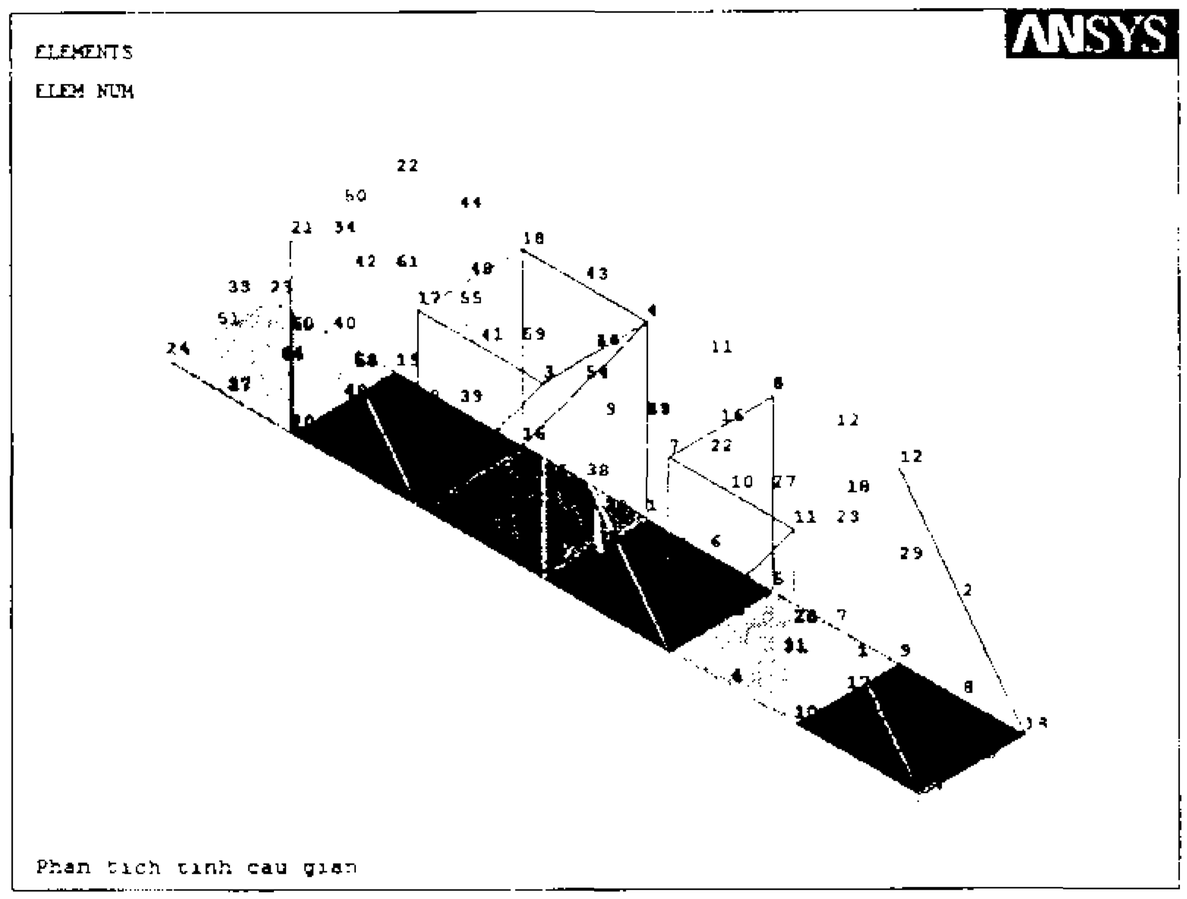
- *Gán ràng buộc chuyển vị:* Tại vị trí mố hai đầu cầu sẽ ràng buộc độ tự do. Giả định đầu cầu trái là gối cố định, bên phải là gối di động. Từ Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Nodes > Xuất hiện cửa sổ chọn điểm nút, dùng chuột chọn nút 23 và 24 > OK > Xuất hiện cửa sổ Apply U, ROT on Nodes, trong DOFs to be constrained chọn UX, UY, UZ, trong Apply as lựa chọn Constant value, trong Displacement value nhập giá trị 0 như hình 5.41, tương tự như vậy gán ràng buộc chuyển vị cho nút 13 và 14, sau khi lựa chọn nút 13 và 14 trong DOFs to be constrained chọn UY, UZ, trong Apply as chọn Constant value, trong Displacement value nhập giá trị 0 cuối cùng nhấn OK. Kết quả gán ràng buộc cho mô hình được cho ở hình 5.42.



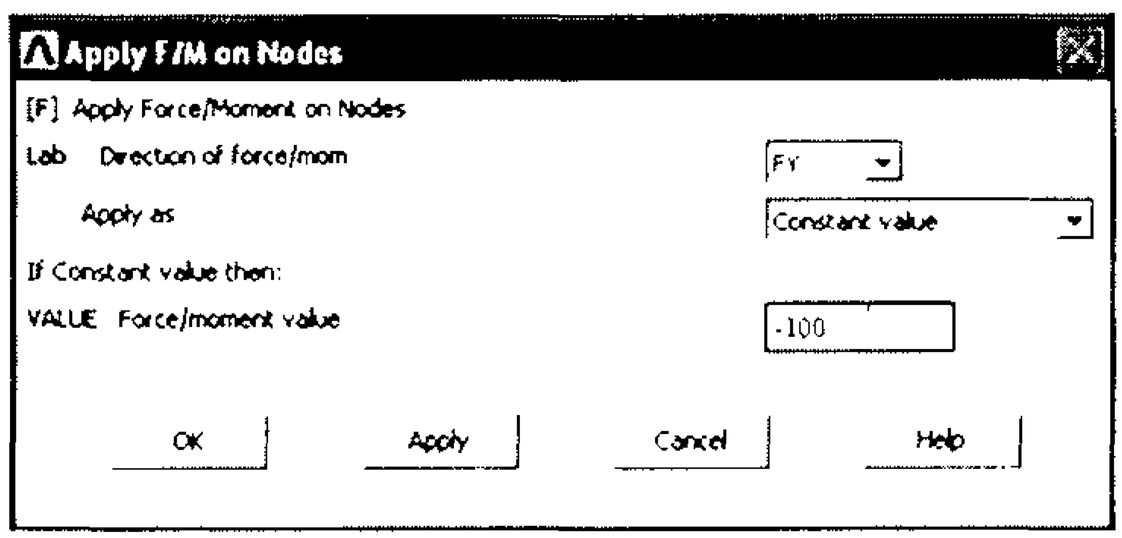
Hình 5.41. *Tạo ràng buộc chuyển vị nút*

- *Gán lực tập trung:* Gán tải trọng tập trung ở hai điểm nút trong nhịp cầu từ Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Nodes > Xuất hiện cửa sổ chọn điểm nút, dùng chuột lựa chọn hai điểm nút 1 và 2 sau đó nhấn OK xuất hiện cửa sổ Apply F/MNodes, trong Lab lựa chọn FY, trong VALUE nhập giá trị -100kN như hình 5.43. Cuối cùng nhấn OK đóng cửa sổ khai báo tải trọng.

- *Gán gia tốc trọng trường:* Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Inertia > Gravity > Grobal > Xuất hiện cửa sổ Apply (Gravitational) Acceleration, trong Global Cartesian Y - comp nhập giá trị gia tốc trọng trường 9.81 m/sec^2, sau đó nhấn OK hoàn thành gán gia tốc trọng trường.

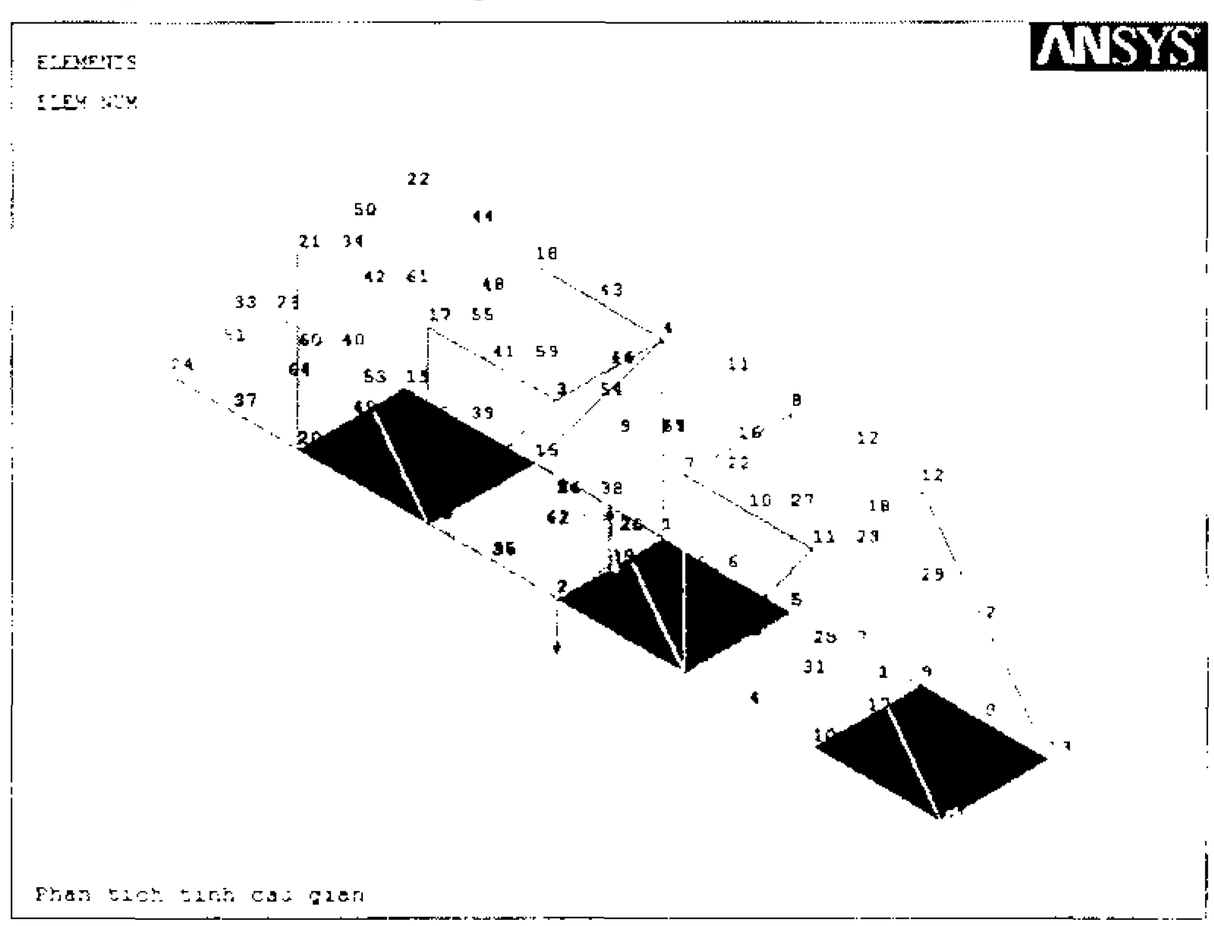


Hình 5.42. Sau khi gán ràng buộc



Hình 5.43. Gán lực tập trung

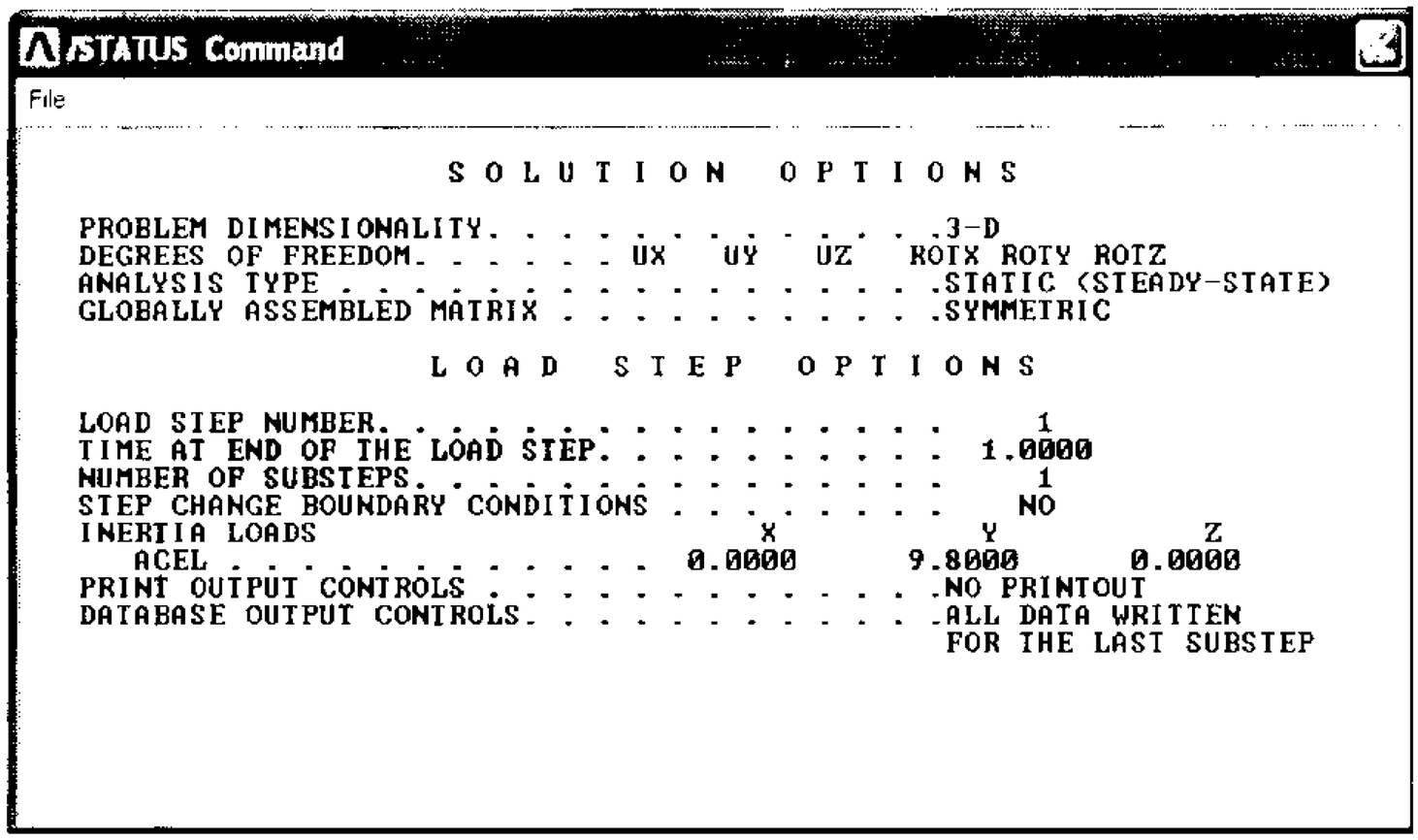
Mô hình sau khi gán tất cả tải trọng cho ở hình 5.44.



Hình 5.44. Mô hình sau khi gán tải trọng

- *Chọn loại hình phân tích:* Main Menu > Solution > Analysis > New Analysis > xuất hiện cửa sổ New Analysis, trong Type of analysis nhấn lựa chọn Static, sau đó nhấn OK.

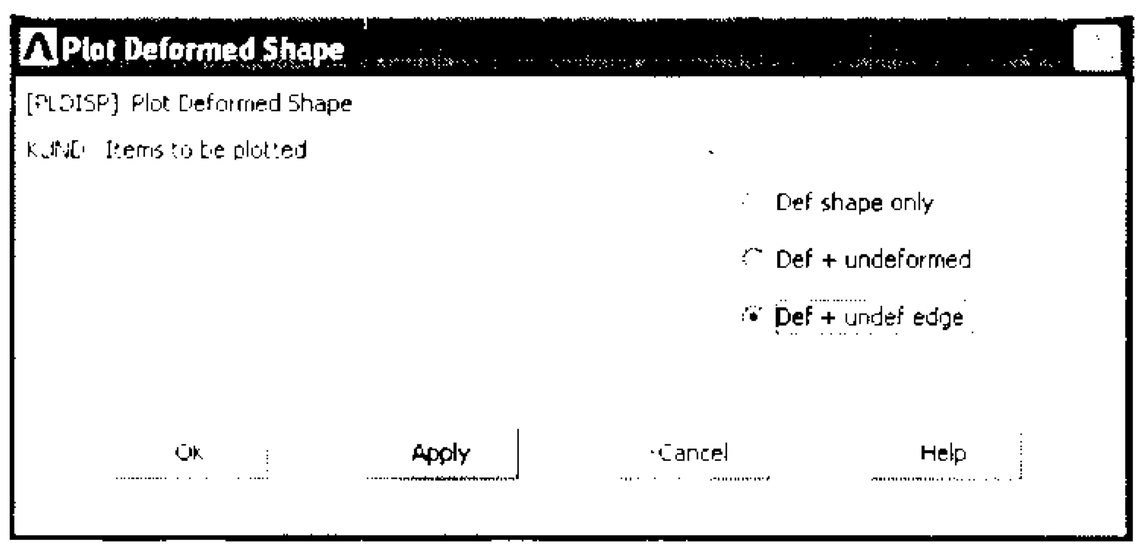
- *Giải đầu tính toán*: Main Menu > Solution > Solve > Current LS > xuất hiện hai cửa sổ /STATUS Command như hình 5.45 và Solve Curent Load Step tóm tắt toàn bộ các thông tin trước khi tính toán. Nhấn OK để bắt đầu quá trình tính toán. Sau khi có thông báo Solution is done việc tính tán đã hoàn thành > Close để kết thúc bước xây dựng mô hình và giải bài toán.



Hình 5.45. *Thông tin yêu cầu tính toán*

c) Khai thác kết quả tính toán

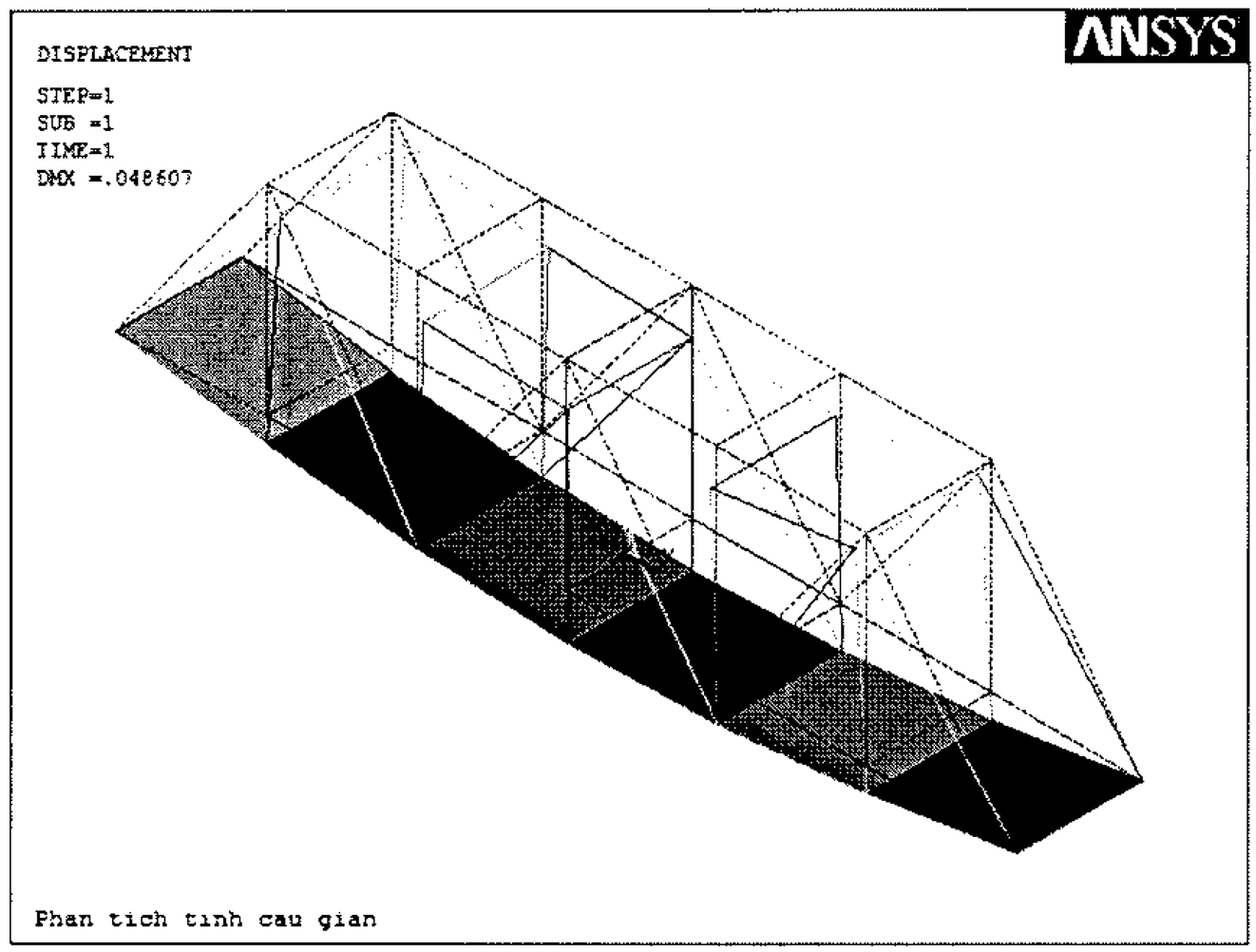
- *Hiển thị biến dạng kết cấu cầu: Từ* Main Menu > General Postproc > Plot Result > Deformed Shape > Xuất hiện cửa sổ Plot Deformed Shape, nhấn lựa chọn Def + undef edge như hình 5.46, sau đó nhấn OK ta có kết quả tính toán như hình 5.47.



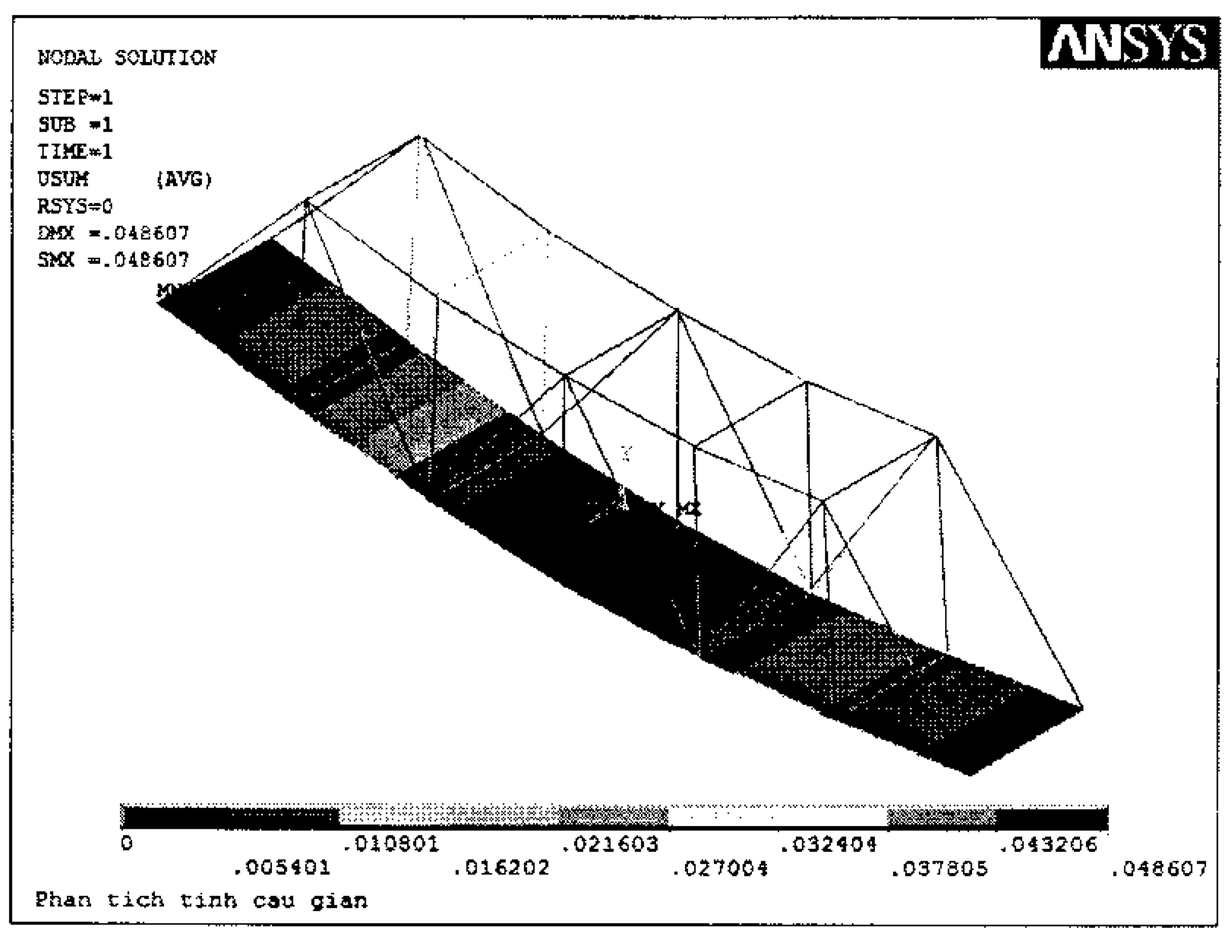
Hình 5.46. *Lựa chọn hiển thị biến dạng*

- *Hiển thị phổ mầu chuyển vị:* Main Menu > General Postproc > Plot Result > Contour Plot > Nodal Solu > Xuất hiện cửa sổ Contour Nodal Solution Data, trong Nodal Solution > DOF Solution bao gồm chuyển vị theo các phương X, Y, Z và tổng

chuyển vị với góc xoay quanh các phương X, Y, Z và góc xoay tổng thể; phía dưới lựa chọn hình thức biến dạng và tỉ lệ biến dạng. Nhấn OK sẽ hiển thị phổ mầu tương ứng lựa chọn. Phổ kết quả chuyển vị tổng thể các điểm nút được cho ở hình 5.48.

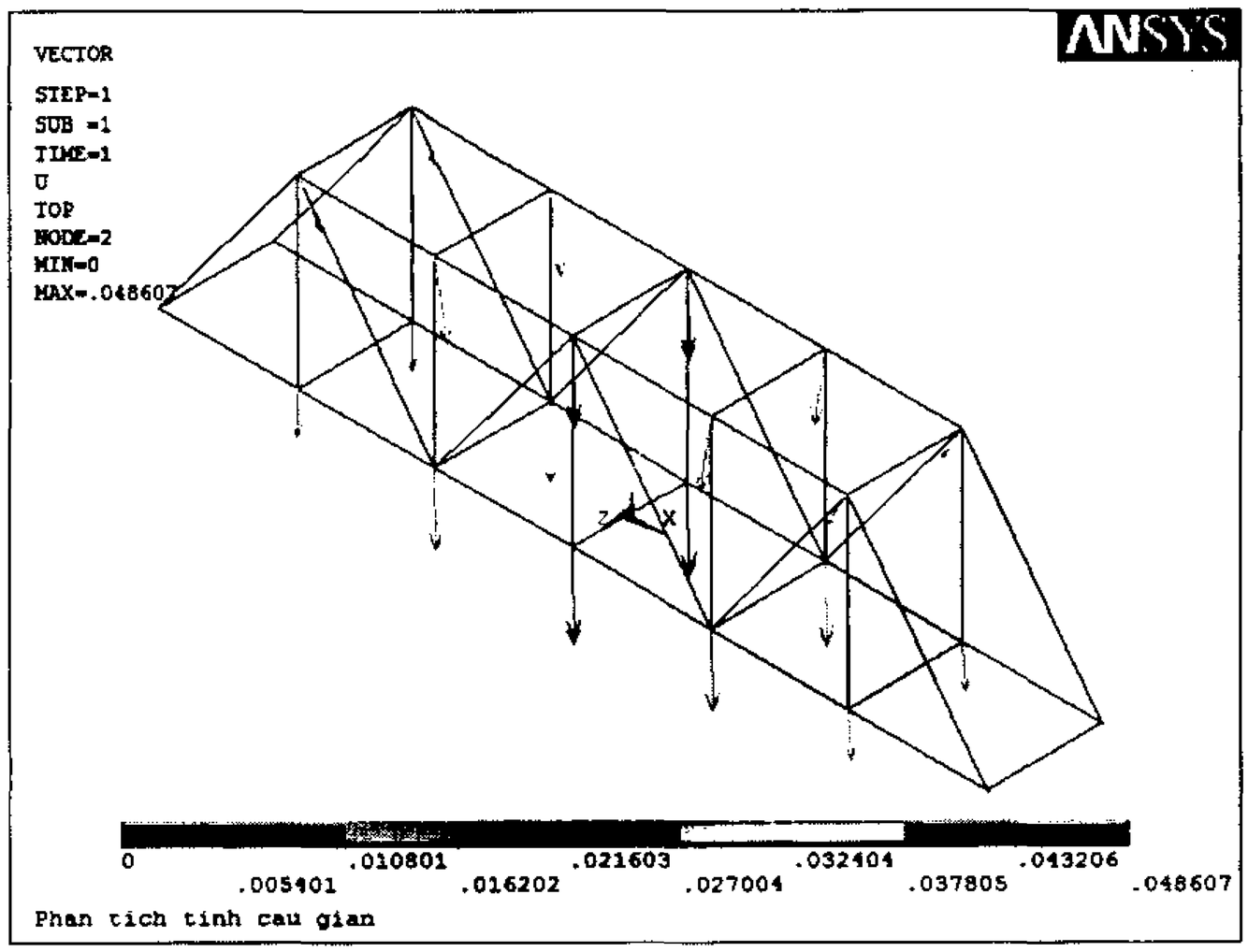


Hình 5.47. Biến dạng kết cấu cầu



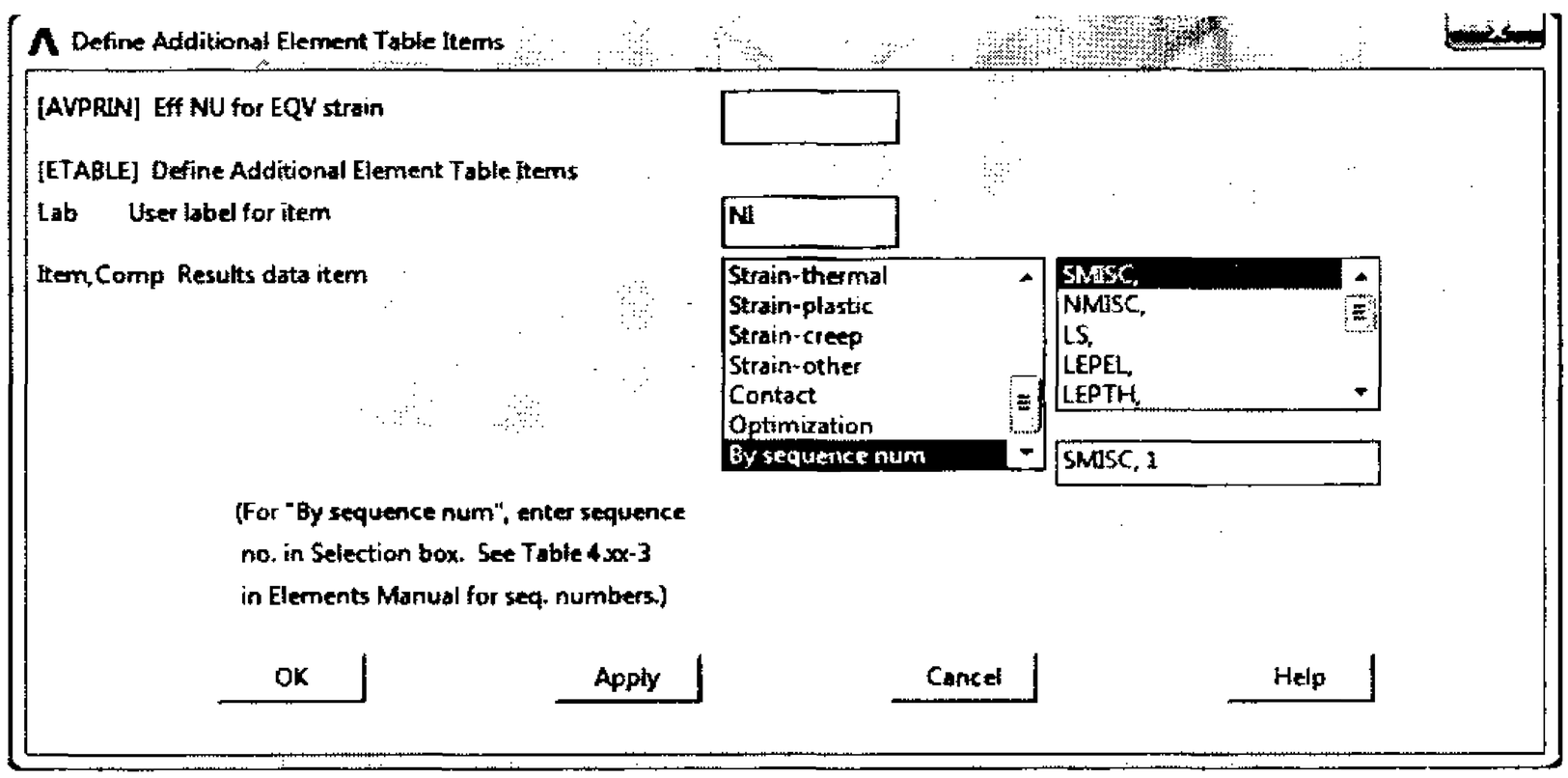
Hình 5.48. Hiển thị phổ tổng chuyển vị

- *Hiển thị véctơ chuyển vị nút:* Main Menu > General Postproc > Plot Results > Vector Plot > Predefined > xuất hiện cửa sổ Vector Plot of Predefined Vectors, trong PLVECT lựa chọn DOF solution và Translation U sau đó nhấn OK. Kết quả được hiển thị như ở hình 5.49.



Hình 5.49. *Hiển thị véc tơ chuyển vị nút*

- *Hiển thị nội lực các thanh giàn:* Trước hết định nghĩa mã nội lực của các phần tử từ Main Menu > General Postproc > Element Table > Define Table > Xuất hiện cửa sổ Element Table Data, nhấn Add > Xuất hiện cửa sổ Define Additional Element Table Items, với lực dọc trong Lab điền NI (định nghĩa mã lực dọc tại nút I), trong Item, Comp khung bên trái lựa chọn By sequence num, khung bên phải phía trên lựa chọn SMISC và phía dưới điền SMISC, 1 như hình 5.50, nhấn Apply tiếp tục định nghĩa mã lực dọc tại nút J của phần tử, trong Lab điền NJ, cửa sổ nhỏ bên phải phía dưới điền SMISC, 7.



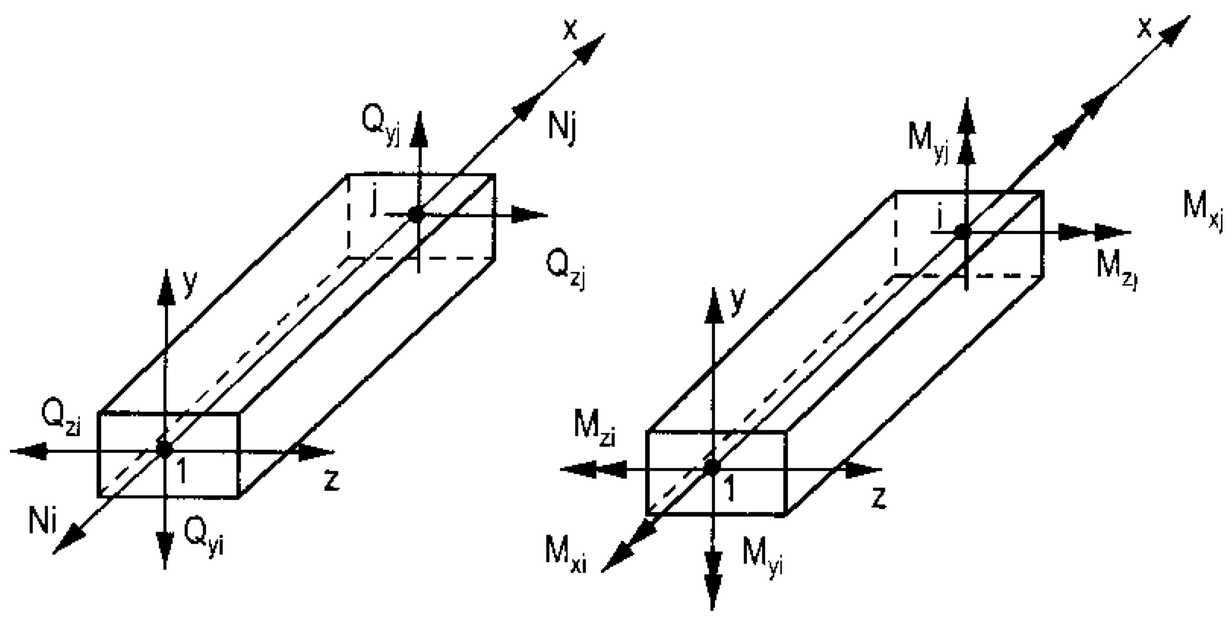
Hình 5.50. *Định nghĩa mã lực dọc tại nút I của phần tử*

Nhấn Apply tiếp tục định nghĩa mã lực cắt theo phương Y tại nút I, trong Lab điền QYI, phía dưới điền SMISC, 2, nhấn Apply tiếp tục định nghĩa mã lực cắt tại nút J,

trong Lab điền QYJ, phía dưới điền SMISC, 8. Nhấn Apply tiếp tục định nghĩa mã lực cắt theo phương Z tại nút I, trong Lab điền QZI, phía dưới điền SMISC, 3, nhấn Apply tiếp tục định nghĩa mã lực cắt tại nút J, trong Lab điền QZJ, phía dưới điền SMISC, 9, Nhấn Apply tiếp tục định nghĩa mã mômen đối với trục X tại nút I, trong Lab điền MXI, phía dưới điền SMISC, 4, nhấn Apply tiếp tục định nghĩa mã mômen đối với trục X tại nút J, trong Lab điền MXJ, phía dưới điền SMISC, 10. Nhấn Apply tiếp tục định nghĩa mã mômen đối với trục Y tại nút I, trong Lab điền MYI, phía dưới điền SMISC, 5, nhấn Apply tiếp tục định nghĩa mã mômen đối với trục Y tại nút J, trong Lab điền MYJ, phía dưới điền SMISC, 11. Nhấn Apply tiếp tục định nghĩa mã mômen đối với trục Z tại nút I phần tử, trong Lab điền MZI, phía dưới điền SMISC, 6, nhấn Apply tiếp tục định nghĩa mã mômen đối với trục Z tại nút J, trong Lab điền MZJ, phía dưới điền SMISC, 12. Nhấn OK để đóng cửa sổ. Cuối cùng nhấn Close để đóng cửa sổ Element Table Data. Nội lực và mã nội lực tại các nút của phần tử BEAM4 được tóm tắt trong bảng 5.7 và hình 5.51.

Bảng 5.7. Nội lực và mã nội lực của phần tử BEAM4

Nội lực	Hạng mục	Mã số điểm nút I	Mã số điểm nút J
NI, NJ (dọc trục)	SMISC	1	7
QYI, QYJ (theo phương Y)	SMISC	2	8
QZI, QZJ (theo phương Z)	SMISC	3	9
MXI, MXJ (đối với trục X)	SMISC	4	10
MYI, MYJ (đối với trục Y)	SMISC	5	11
MZI, MZJ (đối với trục Z)	SMISC	6	12



Hình 5.51. *Nội lực phần tử BEAM4*

- *Bảng liệt kê kết quả tính toán nội lực phần tử:* Main Menu > General Postproc > Element Table > List Elem Table > Xuất hiện bảng List Element Table Data lựa chọn tên nội lực mới định nghĩa NI, NJ, QYI, QYJ, MZI, MZJ sau đó nhấn OK, xuất hiện bảng PRETAB Command, thể hiện nội lực nút của mỗi một phần tử như hình 5.52. Cuối cùng của bảng vẫn xuất giá trị lớn nhất và giá trị nhỏ nhất của mỗi một hạng mục và vị trí phần tử tương ứng.

PRETAB Command

File

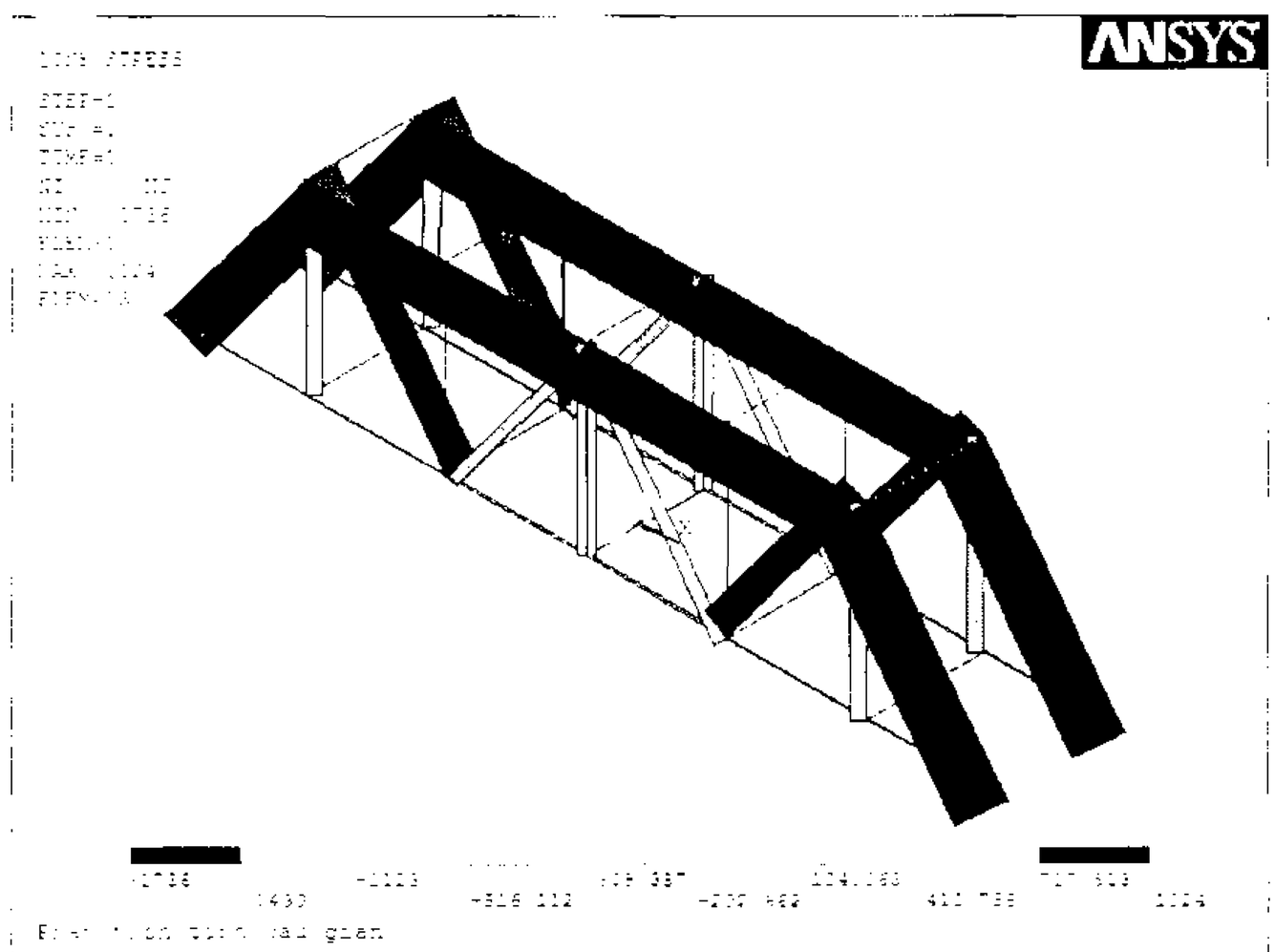
PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT

***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING *****

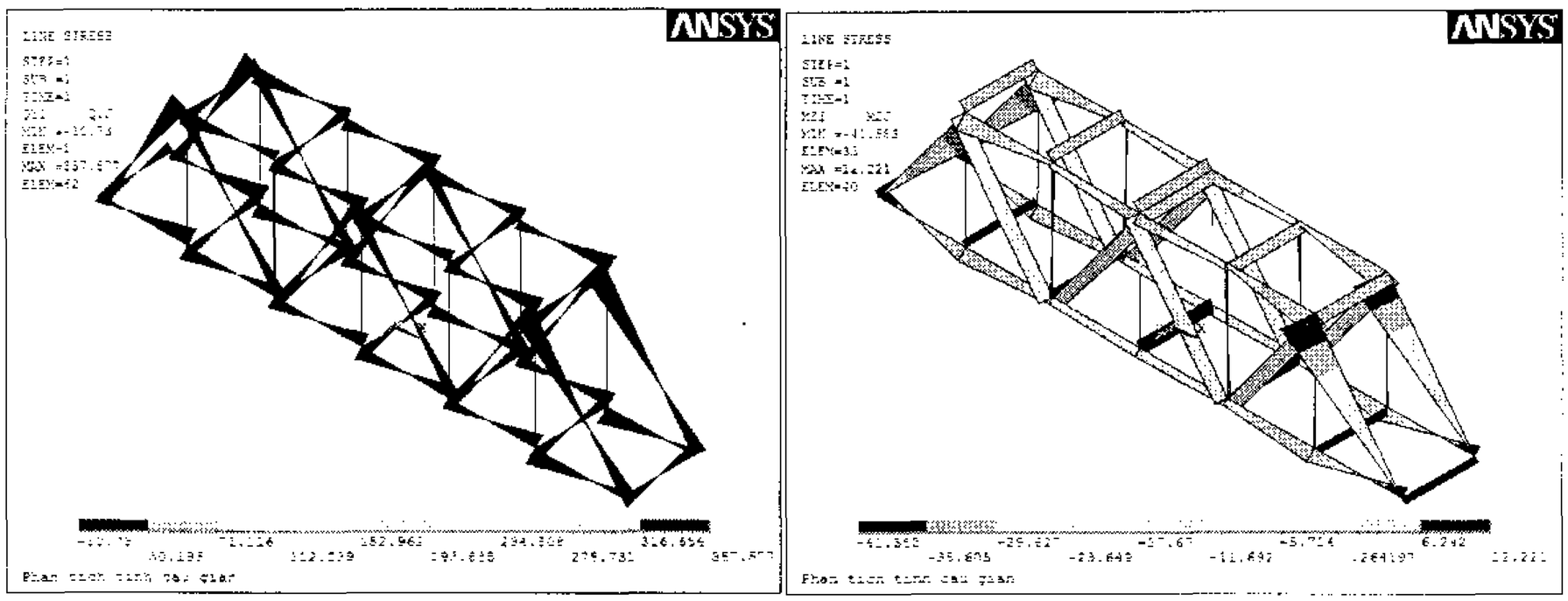
STAT ELEM	CURRENT NI	CURRENT NJ	CURRENT QYI	CURRENT QYJ	CURRENT MZI	CURRENT MZJ
1	-1713.3	-1736.3	-10.730	6.5331	-41.583	0.38648
2	-1713.3	-1736.3	-10.730	6.5331	-41.583	0.38648
3	100.50	100.50	-6.7024	6.3141	-11.441	-9.1113
4	55.635	55.635	-5.7263	7.2903	-8.9203	-18.304
5	54.699	54.699	-9.0313	3.9853	-18.056	12.221
6	100.50	100.50	-6.7024	6.3141	-11.441	-9.1113
7	55.635	55.635	-5.7263	7.2903	-8.9203	-18.304
8	54.699	54.699	-9.0313	3.9853	-18.056	12.221
9	-1647.2	-1647.2	-7.0245	5.9921	-13.498	-7.3037
10	-1646.8	-1646.8	-4.9234	8.0932	-4.1357	-23.155
11	-1647.2	-1647.2	-7.0245	5.9921	-13.498	-7.3037
12	-1646.8	-1646.8	-4.9234	8.0932	-4.1357	-23.155
13	-17.797	-17.797	-5.4236	5.4236	7.8730	7.8730

Hình 5.52. *Kết quả tính toán nội lực phần tử*

- *Hiển thị biểu đồ nội lực*: Main Menu > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Line Elem Res > Xuất hiện cửa sổ Plot Line-Element Results, để hiển thị biểu đồ lực dọc trong LabI chọn NI, trong LabJ chọn NJ, trong Fact nhập giá trị tỉ lệ hiển thị là 0.5 (giá trị mặc định là 1), trong KUND chọn không hiển thị biến dạng, nhấn OK hiển thị biểu đồ lực dọc như hình 5.53. Để hiển thị biểu đồ lực cắt như sau, trong LabI chọn QYI, trong LabJ chọn QYJ, trong Fact nhập giá trị tỉ lệ hiển thị là 10 được biểu đồ lực cắt như hình 5.54a. Hiển thị biểu đồ mômen uốn trong LabI chọn MZI, trong LabJ chọn MZJ, trong Fact nhập giá trị tỉ lệ hiển thị là 0.5 được biểu đồ mômen như hình 5.54b. Do kết cấu trong ví dụ thuộc hệ kết cấu thanh giàn nên mômen và lực cắt rất nhỏ.



Hình 5.53. *Biểu đồ lực dọc*



a) *b)*

Hình 5.54. *Biểu đồ lực cắt QY và mômen uốn MZ*

- *Bảng kết quả tính toán chuyển vị nút"* Main Menu > General Postproc > List Result > Nodal Solution > Xuất hiện cửa sổ List Nodal Solution, chọn Nodal Solution > DOF Solution > Displacement Vector Sum sau đó nhấn OK > Xuất hiện bảng PRNSOL Command liệt kê chuyển vị nút như hình 5.55, trong đó bao gồm chuyển vị theo các phương X, Y, Z và chuyển vị tổng cuối cùng của bảng vẫn liệt kê giá trị lớn nhất và giá trị nhỏ nhất của mỗi một hạng mục và vị trí nút tương ứng.

PRNSOL Command

File

```
PRINT U    NODAL SOLUTION PER NODE

 ***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

 LOAD STEP=     1  SUBSTEP=     1
  TIME=    1.0000      LOAD CASE=   0

 THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

   NODE      UX          UY          UZ          USUM
      1  0.85446E-03-0.48599E-01 0.30052E-04 0.48607E-01
      2  0.85446E-03-0.48599E-01-0.30052E-04 0.48607E-01
      3  0.85446E-03-0.46693E-01-0.91552E-05 0.46701E-01
      4  0.85446E-03-0.46693E-01 0.91552E-05 0.46701E-01
      5  0.12618E-02-0.42299E-01 0.19959E-04 0.42318E-01
      6  0.12618E-02-0.42299E-01-0.19959E-04 0.42318E-01
      7 -0.58210E-02-0.42452E-01-0.59866E-05 0.42849E-01
      8 -0.58210E-02-0.42452E-01 0.59866E-05 0.42849E-01
      9  0.14872E-02-0.25025E-01 0.17463E-04 0.25069E-01
     10  0.14872E-02-0.25025E-01-0.17463E-04 0.25069E-01
     11 -0.12495E-01-0.21633E-01-0.13651E-04 0.24982E-01
     12 -0.12495E-01-0.21633E-01 0.13651E-04 0.24982E-01
```

Hình 5.55. *Bảng liệt kê chuyển vị nút*

d) Lưu và thoát khỏi chương trình

Nhấn Quit trên thanh công cụ xuất hiện cửa sổ Exit from ANSYS, sau khi lựa chọn một phương thức lưu nhấn OK để thoát khỏi chương trình.

2. Thực hiện theo phương thức COMMAND

```
/TITLE, Phan tich tinh cau gian          !Chỉ định tiêu đề
/COM, Structural                         !Chọn loại hình phân tích
/PREP7                                   !Tiền xử lý
ET,1,BEAM4                               !Định nghĩa loại hình phần tử số 1
ET,2,SHELL63                             !Định nghĩa loại hình phần tử số 2
SECTYPE,1,BEAM,I,,0                      !Định nghĩa mặt cắt hình chữ I số 1
SECOFFSET,CENT                           !Trọng tâm mặt cắt không thay đổi
SECDATA,0.4,0.4,0.4,0.016,0.016,0.016,0,0,0,0!Tham số mặt cắt số 1
SECTYPE,2,BEAM,I,,0                      !Định nghĩa mặt cắt hình chữ I số 2
SECOFFSET,CENT                           !Trọng tâm mặt cắt không thay đổi
SECDATA,0.4,0.4,0.4,0.012,0.012,0.012,0,0,0,0 !Tham số mặt cắt số 2
SECTYPE,3,BEAM,I,,0                      !Định nghĩa mặt cắt hình chữ I số 3
SECOFFSET,CENT                           !Trọng tâm mặt cắt không thay đổi
SECDATA,0.3,0.3,0.4,0.012,0.012,0.012,0,0,0,0 !Tham số mặt cắt số 3
R,1,0.0187,0.17E-3,0.54E-3,0.4,0.4,0,    !Thiết lập hằng số thực số 1
R,2,0.0141,0.128E-3,0.415E-3,0.4,0.4,0,  !Thiết lập hằng số thực số 2
R,3,0.0117,0.541E-4,0.324E-3,0.3,0.4,0,  !Thiết lập hằng số thực số 3
R,4,0.3,,,,,,                            !Thiết lập hằng số thực số 4
MP,EX,1,2.1E8                            !Định nghĩa mô đun đàn hồi vật liệu 1
MP,PRXY,1,0.3                            !Định nghĩa hệ số Poisson vật liệu 1
MP,DENS,1,7.850                          !Định nghĩa mật độ vật liệu 1
MP,EX,2,3.5E7                            !Định nghĩa mô đun đàn hồi vật liệu 2
MP,PRXY,2,0.1667                         !Định nghĩa hệ số Poisson vật liệu 2
MP,DENS,2,2.500                          !Định nghĩa mật độ vật liệu 2
N,,0,0,-5,,,,                            !Thiết lập điểm nút
NGEN,4,4,ALL,,,12,,,1,                   !Sao chép điểm nút
NGEN,2,1,ALL,,,,,10,1,                   !Sao chép điểm nút
NGEN,2,1,2,10,4,,16,,1,                  !Sao chép điểm nút
NGEN,2,1,3,11,4,,,-10,1,                 !Sao chép điểm nút
TYPE,1                                   !Lựa chọn loại hình phần tử số 1
MAT,1                                    !Lựa chọn vật liệu số 1
REAL,1                                   !Lựa chọn hằng số thực số 1
ESYS,0                                   !Hệ toạ độ phần tử
SECNUM,1                                 !Lựa chọn mặt cắt số 1
TSHAP,LINE                               !Lựa chọn phần tử đường
E,11,14                                  !Thiết lập phần tử
E,12,13                                  !Thiết lập phần tử
TYPE,1                                   !Lựa chọn loại hình phần tử số 1
MAT,1                                    !Lựa chọn vật liệu số 1
REAL,2                                   !Lựa chọn hằng số thực số 2
```

```
ESYS,0                    !Hệ toạ độ phần tử
SECNUM,2                  !Lựa chọn mặt cắt số 2
TSHAP,LINE                !Lựa chọn phần tử đường
E,2,6                     !Thiết lập phần tử
E,6,10
E,10,14
E,1,5
E,5,9
E,9,13
E,3,7
E,7,11
E,4,8
E,8,12
E,1,2
E,3,4
E,5,6
E,7,8
E,9,10
E,11,12
E,13,14
TYPE,1                    !Lựa chọn loại hình phần tử số 1
MAT,1                     !Lựa chọn vật liệu số 1
REAL,3                    !Lựa chọn hằng số thực số 3
ESYS,0                    !Hệ toạ độ phần tử
SECNUM,3                  !Lựa chọn mặt cắt số 3
TSHAP,LINE                !Lựa chọn phần tử đường
E,3,6                     !Thiết lập phần tử
E,6,11
E,4,5
E,5,12
E,2,3
E,1,4
E,6,7
E,5,8
E,10,11
E,9,12
TYPE,2                    !Lựa chọn loại hình phần tử số 2
MAT,2                     !Lựa chọn vật liệu số 2
REAL,4                    !Lựa chọn hằng số thực số 4
ESYS,0                    !Hệ toạ độ phần tử
TSHAP,QUAD                !Lựa chọn phần tử hình 4 cạnh
E,1,2,6,5                 !Thiết lập phần tử
```

```
E,5,6,10,9
E,9,10,14,13
NSYM,X,14,ALL                !Đối xứng tất cả điểm nút qua mặt YOZ
ESYM,,14,ALL                 !Đối xứng tất cả phần tử qua mặt YOZ
NUMMRG,ALL,,,,LOW            !Hợp nhất điểm nút phần tử trùng hợp
NUMCMP,ALL                   !Nén giảm mã điểm nút phần tử
FINISH                       !Kết thúc giai đoạn tiền xử lý
/SOLU                        !Tính toán
NSEL,S,,,23,24               !Lựa chọn điểm nút
D,ALL,,0,,,,UX,UY,UZ,,,,     !Ràng buộc 3 độ tự do
NSEL,S,,,13,14               !Lựa chọn điểm nút
D,ALL,,0,,,,,UY,UZ,,,,       !Ràng buộc 2 độ tự do
NSEL,S,,,1,2                 !Lựa chọn điểm nút
F,ALL,FY,-100                !Gán tải trọng tập trung
ALLSEL,ALL                   !Lựa chọn tất cả
ACEL,0,9.8,0,                !Gán gia tốc trọng trường
ANTYPE,0                     !Lựa chọn loại hình phân tích tĩnh
SOLVE                        !Tính toán
FINISH                       !Kết thúc quá trình tính toán
/POST1                       !Hậu xử lý
PLDISP,2                     !Hiển thị biến hình kết cấu
PLNSOL,U,SUM,0,1.0           !Hiển thị phổ tổng chuyển vị
PLVECT,U,,,,VECT,ELEM,ON,0!Hiển thị véc tơ tổng chuyển vị điểm nút
ETABLE,NI,SMISC,1            !Định nghĩa bảng phần tử, lực dọc
ETABLE,NJ,SMISC,7            !Định nghĩa bảng phần tử, lực dọc
ETABLE,QYI,SMISC,2           !Định nghĩa bảng phần tử, lực cắt
ETABLE,QYJ,SMISC,8           !Định nghĩa bảng phần tử, lực cắt
ETABLE,MZI,SMISC,6           !Định nghĩa bảng phần tử, mômen
ETABLE,MZJ,SMISC,12          !Định nghĩa bảng phần tử, mômen
PRETAB,NI,NJ,QYI,QYJ,MZI,MZJ !Hiển thị bảng kết quả phần tử
PLLS,NI,NJ,0.5,0             !Hiển thị biểu đồ lực dọc
PLLS,QYI,QYJ,10,0            !Hiển thị biểu đồ lực cắt
PLLS,MZI,MZJ,0.5,0           !Hiển thị biểu đồ mômen
PRNSOL,U,COMP                !Hiển thị bảng chuyển vị điểm nút
FINISH                       !Kết thúc giai đoạn hậu xử lý
!/EXIT,ALL                   !Ra khỏi ANSYS và lưu toàn bộ thông tin
```

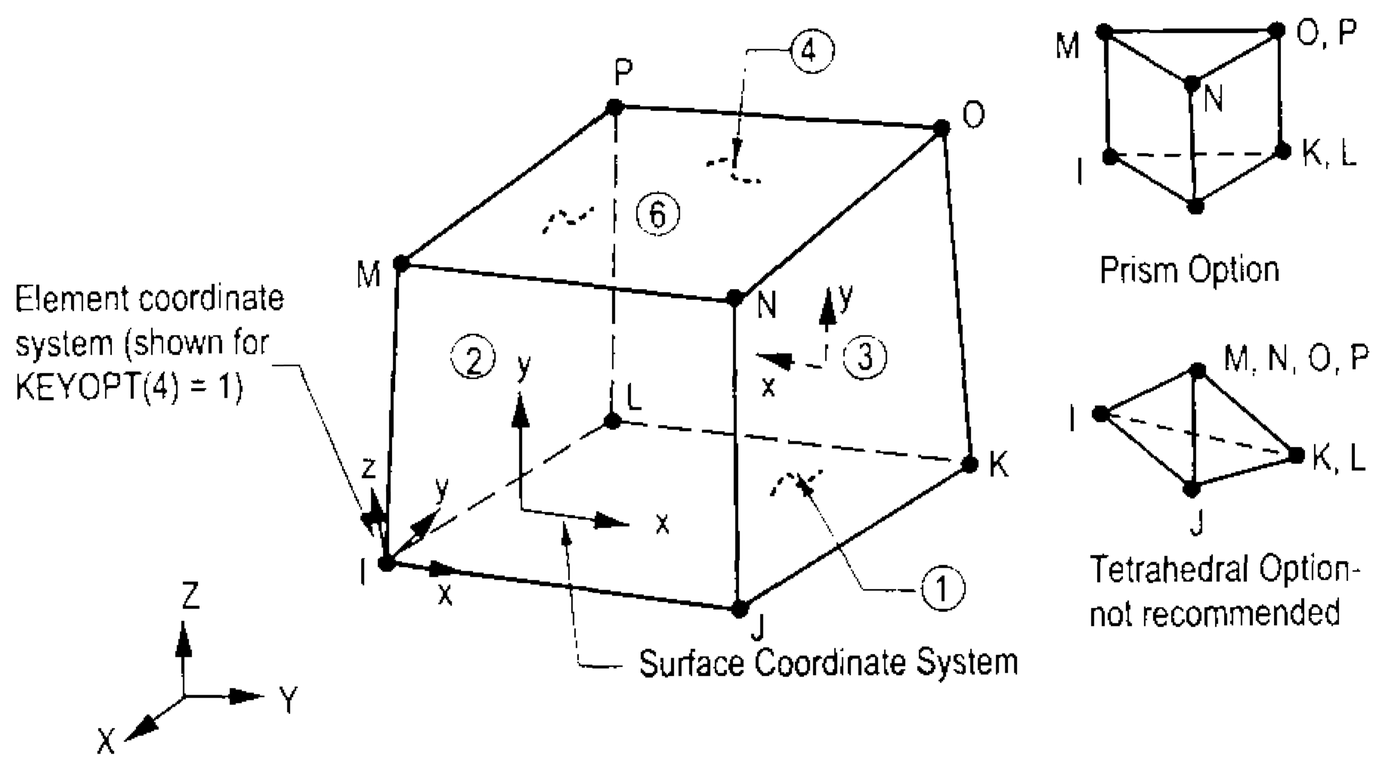
Chương 6
KẾT CẤU KHỐI

6.1. KẾT CẤU KHỐI

Khối là vật thể được giới hạn bởi 4 hoặc 6 mặt có kích thước các cạnh chênh lệch nhau không nhiều. Mỗi một công trình xây dựng bất kỳ đều được tạo thành từ các khối nhỏ. Với kết cấu đơn giản có thể đưa về bài toán thanh, bài toán phẳng, bài toán tấm và vỏ để giảm nhỏ khối lượng tính toán nhưng vẫn đảm bảo độ chính xác nhất định. Nhưng đối với công trình có ngoại hình phức tạp, khi phân tích ứng suất và biến dạng nên sử dụng phần tử khối để nâng cao độ chính xác của bài toán.

6.2. PHẦN TỬ KHỐI

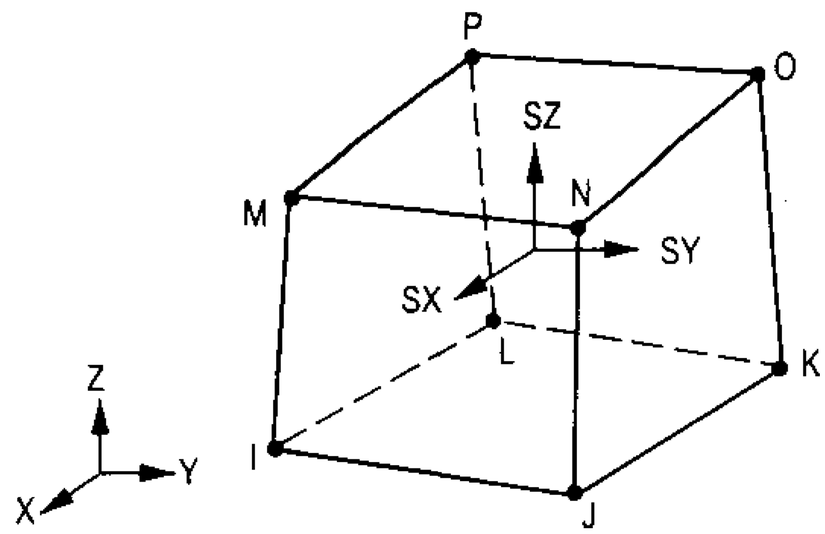
Phần tử khối trong chương trình ANSYS có SOLID5, SOLID45, SOLID46, SOLID70 và SOLID266. Trong phần này chỉ giới thiệu phần tử SOLID45 thường sử dụng trong công trình xây dựng. SOLID45 là phần tử khối 3 chiều có 8 điểm nút. Trên mỗi một điểm nút có 3 độ tự do là chuyển vị thẳng theo 3 phương X, Y, Z. Phần tử có tính chất tính dẻo, từ biến, giãn nở, ứng suất cứng hoá, biến hình lớn và biến dạng lớn. Trong hình 6.1 thể hiện hình dạng hình học, điểm nút và hệ toạ độ phần tử của SOLID45.



Hình 6.1. Phần tử SOLID45

Số liệu đầu vào: Số liệu đầu vào phần tử SOLID45 cho ở bảng 6.1.

Số liệu đầu ra: Số liệu đầu ra phần tử SOLID45 cho ở hình 6.2 và bảng 6.2.



Stress directions shown are for KEYOPT(4) = 0

Hình 6.2. *Ứng suất phần tử SOLID45*

Bảng 6.1. Số liệu đầu vào phần tử SOLID45

Tên gọi phần tử	SOLID45
Điểm nút	I, J, K, L, M, N, O, P
Độ tự do	UX, UY, UZ
Hằng số thực	Giá trị mặc định thiết lập là 1, đề nghị lấy trong khoảng từ 1~10
Đặc tính vật liệu	EX, EY, EZ, PRXY, PRYZ, PRXZ (hoặc NUXY, NUYZ, NUXZ) ALPX, ALPY, ALPZ (hoặc CTEX, CTEY, CTEZ hoặc THSX, THSY, THSZ) DENS, GXY, GYZ, GXZ, DAMP
Tải trọng bề mặt	Áp lực: Mặt 1 (J-I-K-L), Mặt 2 (I-J-N-M), Mặt 3 (J-K-O-N), Mặt 4 (K-L-P-O), Mặt 5 (L-I-M-P), Mặt 6 (M-N-O-P)
Tải trọng khối	Nhiệt độ: T(I), T(J), T(K), T(L), T(M), T(N), T(O), T(P) Lưu lượng nhiệt: FL(I), FL(J), FL(K), FL(L), FL(M), FL(N), FL(O), FL(P)
Đặc tính	Tính dẻo, từ biến, giãn nở, ứng suất cứng hoá, biến hình lớn, phần tử sinh chết, nhập ứng suất ban đầu
KEYOPT (1)	0 - Bao hàm hình dạng chuyển vị lớn 1 - Khống chế hình dạng chuyển vị lớn
KEYOPT (2)	Lựa chọn tích phân: 0 - Tích phân hoàn toàn có hoặc không có hình dạng chuyển vị lớn 1 - Tích phân giảm dần
KEYOPT (4)	Hệ toạ độ phần tử: 0 - Hệ toạ độ phần tử song song với hệ toạ độ tổng thể 1 - Hệ toạ độ phần tử lấy cạnh I-J làm chuẩn
KEYOPT (5)	0 - Xuất tính toán phần tử cơ bản 1 - Tính toán lặp tất cả điểm tích phân cơ bản 2 - Tính toán ứng suất điểm nút
KEYOPT (6)	0 - Xuất tính toán phần tử cơ bản 1 - Tính toán bề mặt cho mặt I-J-N-M 2 - Tính toán bề mặt cho mặt I-J-N-M và mặt K-L-P-O 3 - Tính toán phi tuyến mỗi điểm tích phân 4 - Tính toán tất cả mặt áp lực khác 0
KEYOPT (9)	0 - Chương trình con người dùng không cung cấp ứng suất ban đầu 4 - Từ chương trình con người dùng đọc ứng suất ban đầu

Bảng 6.2. Số liệu đầu ra phần tử SOLID45

Tên gọi	Định nghĩa
EL	Mã phần tử
NODES	Điểm nút phần tử I, J, K, L, M, N, O, P
MAT	Mã vật liệu
VOLU	Thể tích
XC, YC, ZC	Toạ độ trung tâm xuất kết quả phần tử
TEMP	Nhiệt độ
PRES	Áp lực điểm nút
FLUEN	Lưu lượng nhiệt
EPPL:X,Y,Z,XY,YZ,XZ	Biến dạng dẻo bình quân
T (X,Y,XY)	Ứng suất phẳng phần tử
M (X,Y,XY)	Mômen phần tử
FOUND PRESS	Ứng suất cơ bản
LOC	Đỉnh, giữa hoặc đáy
S: X, Y, Z, XY,YZ,ZX	Ứng suất
S: 1, 2, 3	Ứng suất chính
S: INT	Cường độ ứng suất
S: EQV	Ứng suất tương đương
EPEL: X,Y,Z,XY,YZ,ZX	Biến dạng đàn hồi
EPEL: 1,2,3	Biến dạng chính đàn hồi
NL: EPEQ	Biến dạng dẻo tương đương bình quân
AREA	Diện tích bề mặt
FACE	Ký hiệu mặt
EPEL	Biến dạng dẻo bề mặt
PRESS	Áp lực bề mặt
S (1,2,3)	Ứng suất chính bề mặt
SINT	Cường độ ứng suất bề mặt
SEQV	Ứng suất tương đương bề mặt

Chú thích:

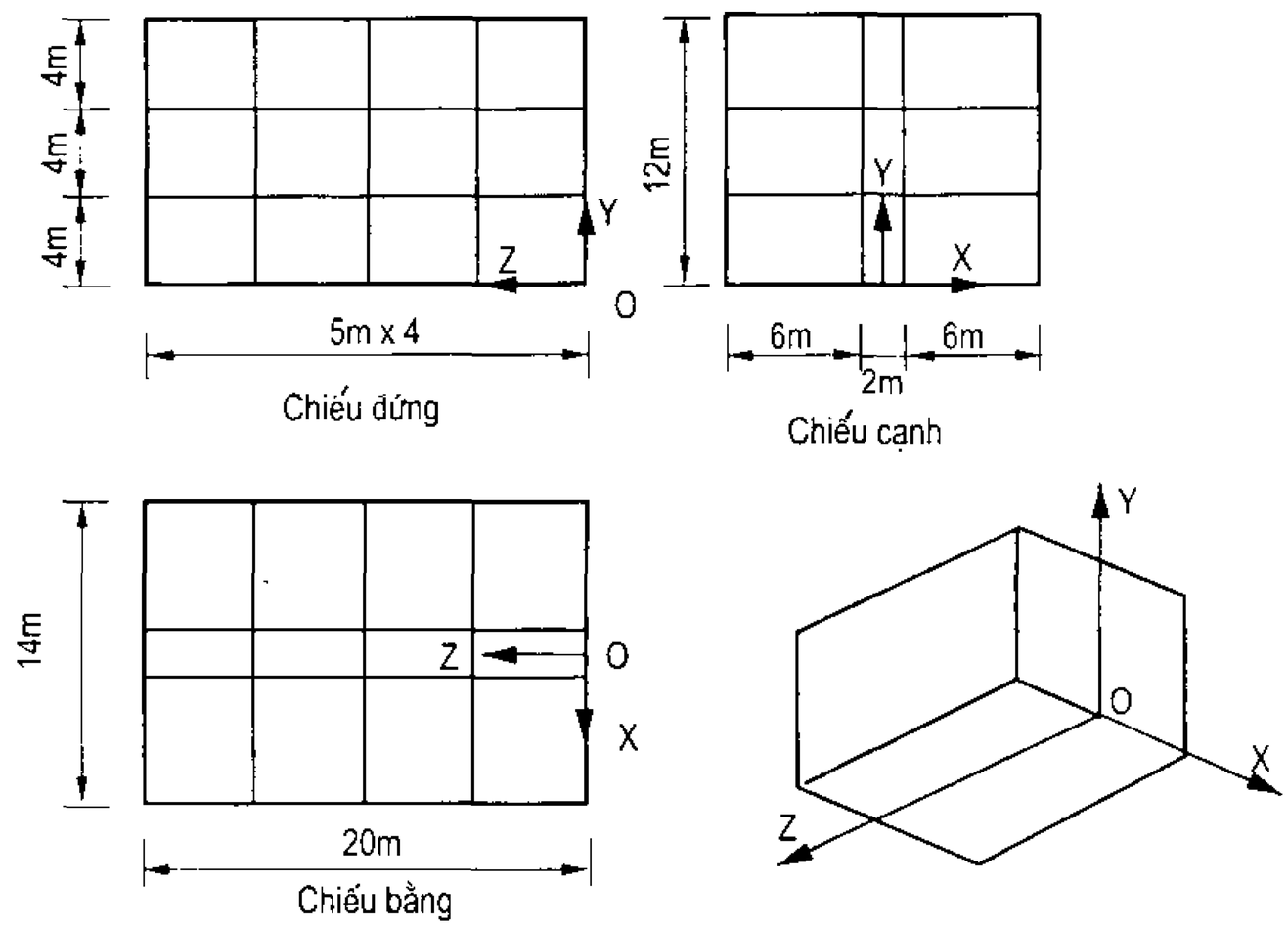
- Phần tử thể tích không có khả năng là 0.
- Phần tử không thể xoay tròn để tạo thành hai khối thể tích phân biệt.
- Không có khả năng sử dụng đặc tính vật liệu giảm dần.
- Có thể sử dụng đặc tính phần tử ứng suất cứng hoá.

6.3. PHÂN TÍCH BÀI TOÁN KHỐI

• Ví dụ 6.1. Phân tích kết cấu khung nhà dân dụng

Xác định nội lực và chuyển vị của kết cấu khung dưới tác dụng của trọng lượng bản thân, khung có hình chiếu bằng, chiếu đứng và chiếu cạnh cho ở hình 6.3. Chiều dày

bản sàn là 0.29m, mặt cắt ngang cột (0.5×0.5)m, mặt cắt ngang dầm ngang (0.22×0.6)m, dầm dọc (0.3×0.6)m. Vật liệu bê tông có mô đun đàn hồi $E_b = 3\times10^7 kN/m^2$, hệ số Poisson $\mu_b = 0.2$, trọng lượng riêng $\gamma_b = 25kN/m^3$.



Hình 6.3. Kích thước kết cấu khung

1. Giải theo phương thức GUI

a) Xây dựng mô hình tính toán và giải bài toán

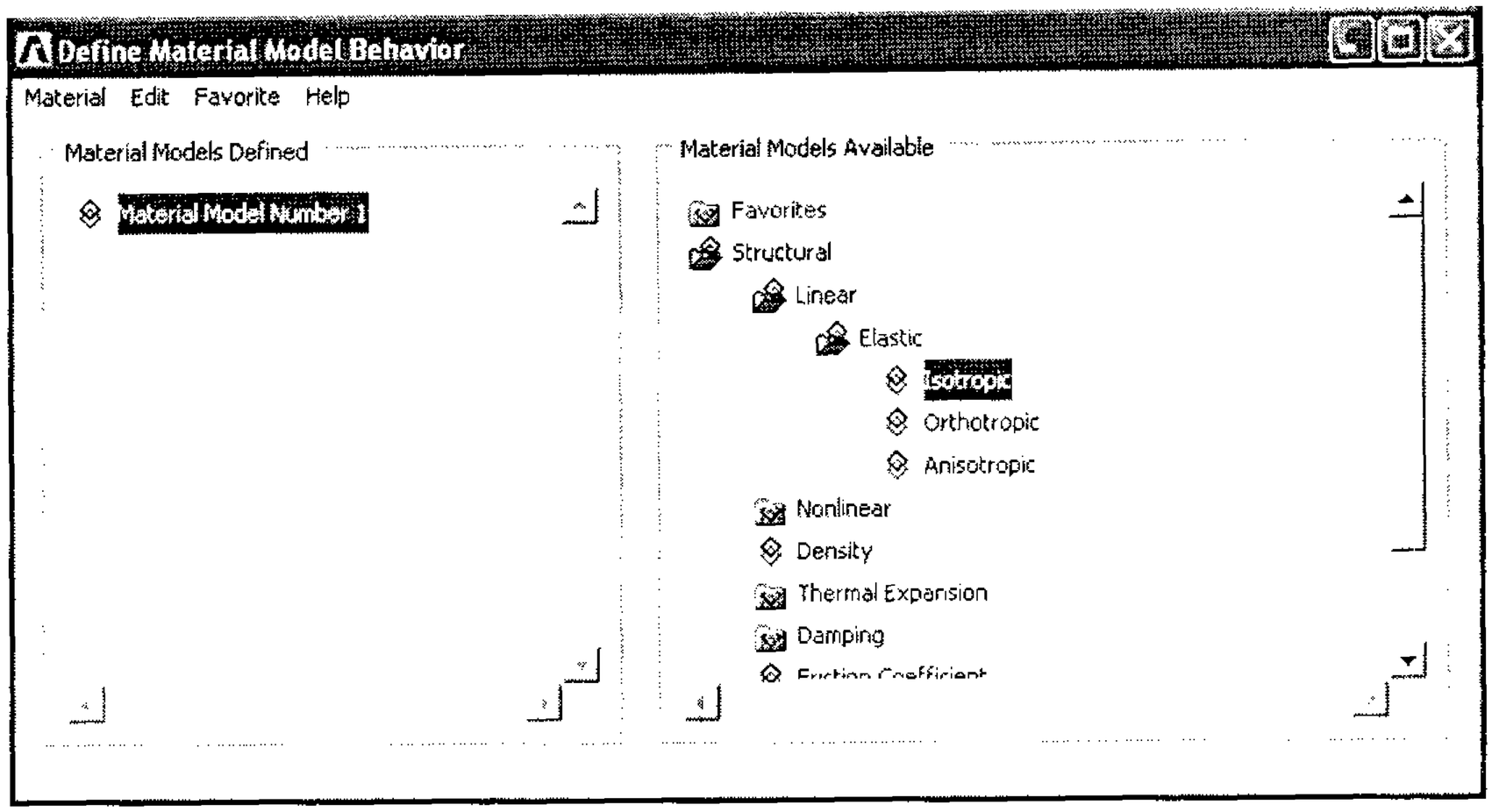
- *Giới hạn phạm vi các chức năng*: Main Menu > Preference > Xuất hiện cửa sổ Preferences for GUI Filtering, nhấn chọn hạng mục Structural.

- *Đặt tiêu đề công việc*: Utility Menu > File > Change Title > Xuất hiện cửa sổ Change title, nhập tên công việc Phan tich ket cau khung > OK.

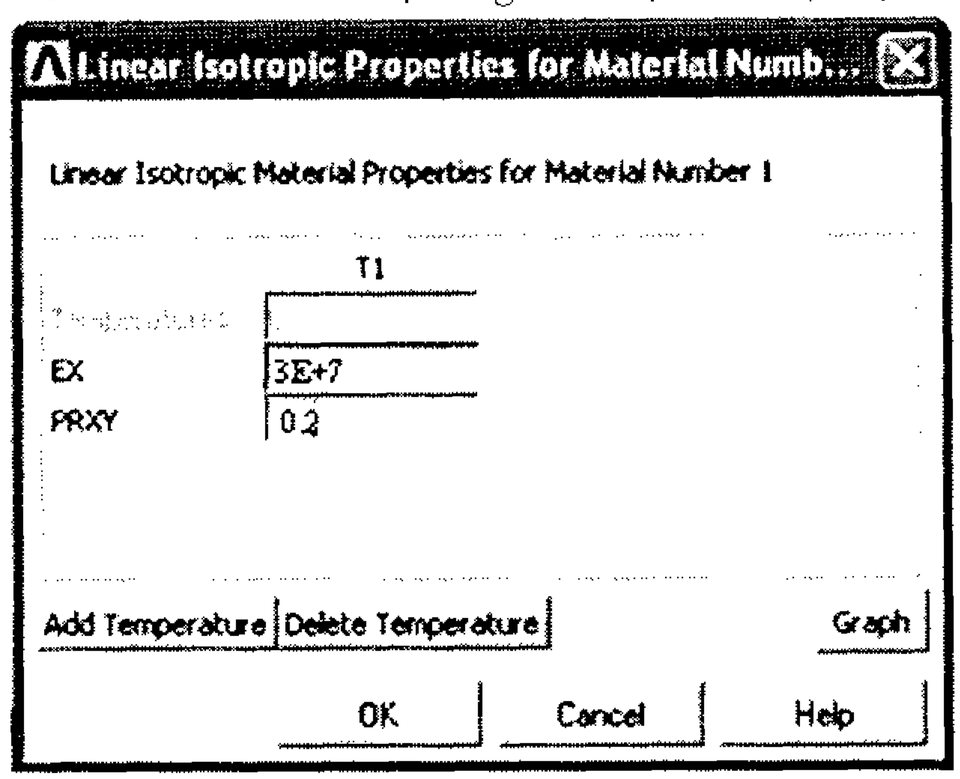
- *Chọn loại phần tử*: Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Xuất hiện cửa sổ Element Types > Add > Xuất hiện cửa sổ Library of Element Types. Trong cửa sổ bên trái chọn Structural Solid tương ứng bên phải chọn Brick 8node45 > OK, hoàn thành định nghĩa phần tử SOLID45 > Close để đóng cửa sổ Element Types.

- *Định nghĩa hằng số thực phần tử*: Do phần tử SOLID không có hằng số thực vì vậy không cần định nghĩa hằng số thực.

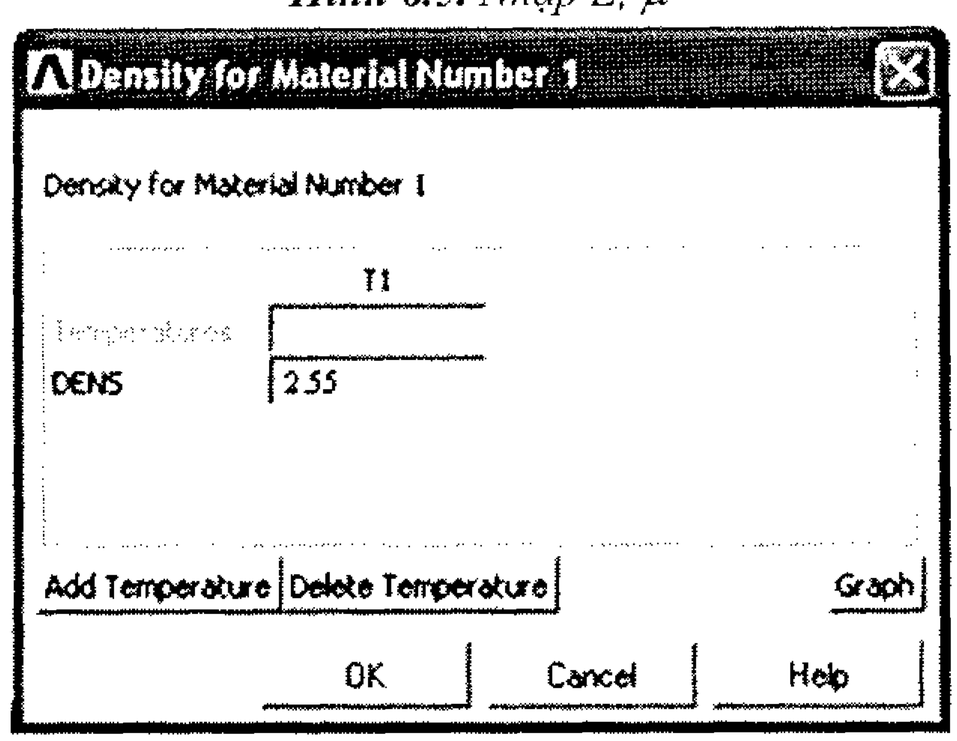
- *Gán thuộc tính vật liệu*: Chọn hệ đơn vị: kN, m. Từ Main Menu > Preprocessor > Material Props > Material Models > Xuất hiện cửa sổ Define Material Model Behavior như hình 6.4, trong cửa sổ bên phải nhấn đúp theo đường dẫn Structural > Linear > Elastic > Isotropic > Xuất hiện cửa sổ Linear Isotropic Properties for Material Number 1 như hình 6.5, nhập EX = 3E+7, nhập PRXY = 0.2 > OK đóng cửa sổ khai báo. Tiếp tục trong cửa sổ hình 6.4 nhấn đúp vào Density > Xuất hiện cửa sổ Density for Material Number 1 như hình 6.6, trong cửa sổ nhập giá trị DENS = 2.55 > OK đóng cửa sổ khai báo.



Hình 6.4. Cửa sổ định nghĩa thuộc tính vật liệu

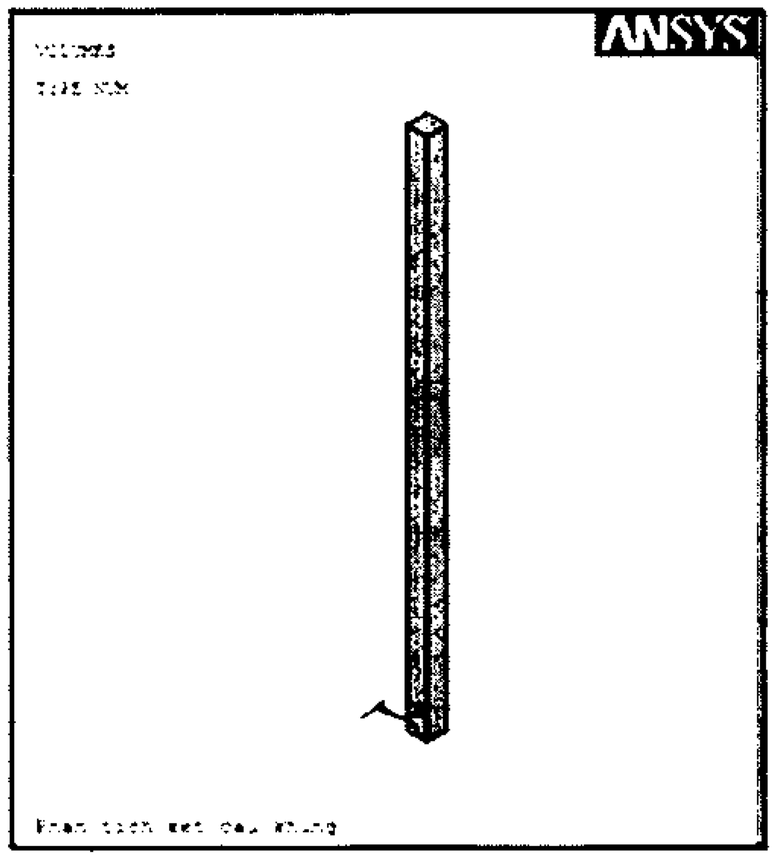


Hình 6.5. Nhập E, μ



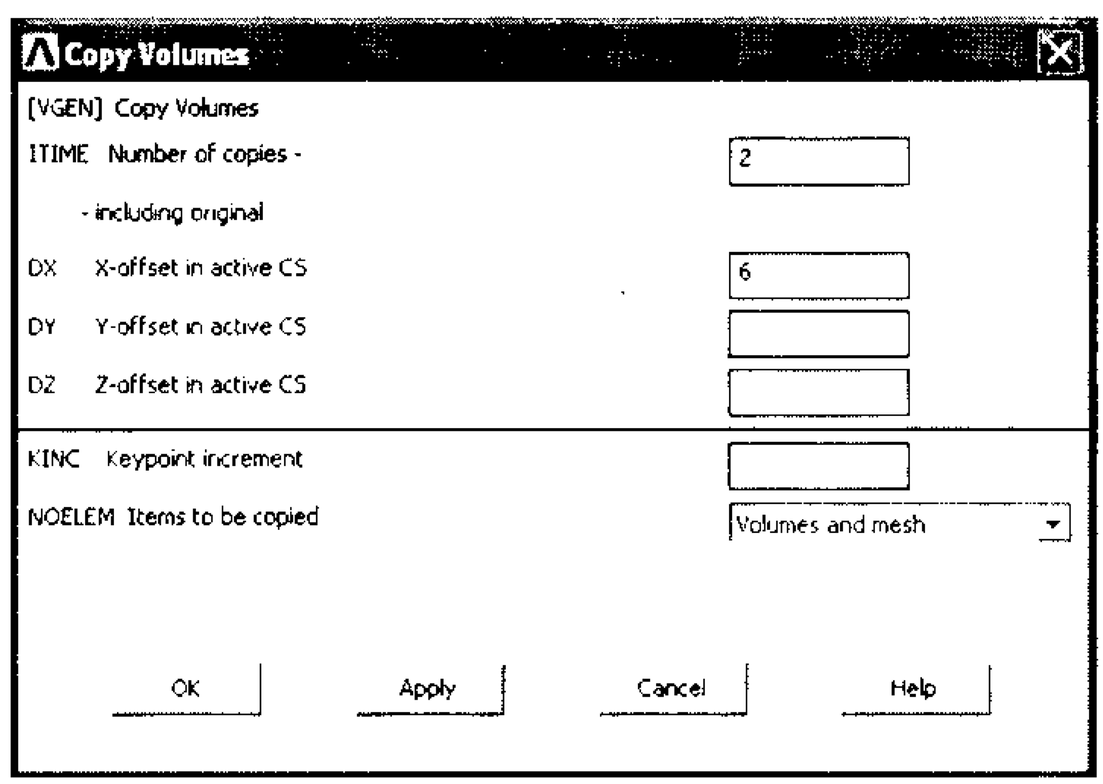
Hình 6.6. Nhập khối lượng riêng

- *Tạo một cột trong khung*: Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Keypoint > In Active CS > Xuất hiện cửa sổ Create Keypoints in Active Coordinate System, trong NPT Keypoint number > Nhập giá trị 1, trong X, Y, X Location in active CS nhập giá trị toạ độ (1.25, 0, 0.25) > Apply > Tạo được điểm đặc trưng 1. Tiếp tục như vậy trong NPT Keypoint number nhập các điểm 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 tương ứng trong X, Y, X Location in active CS nhập các giá trị toạ độ 2(1.25, 0, -0.25), 3(0.75, 0, 0.25), 4(0.75, 0, -0.25), 5(1.25, 12, 0.25), 6(1.25, 12, -0.25), 7(0.75, 12, 0.25), 8(0.75, 12, -0.25) > OK. Sau đó từ Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Arbitrary > Throught KPs > Lần lượt dùng chuột chọn các điểm đặc trưng 1, 2, 4, 3, 5, 6, 8, 7 > OK, được một cột như hình 6.7.



Hình 6.7. *Mô hình một cột*

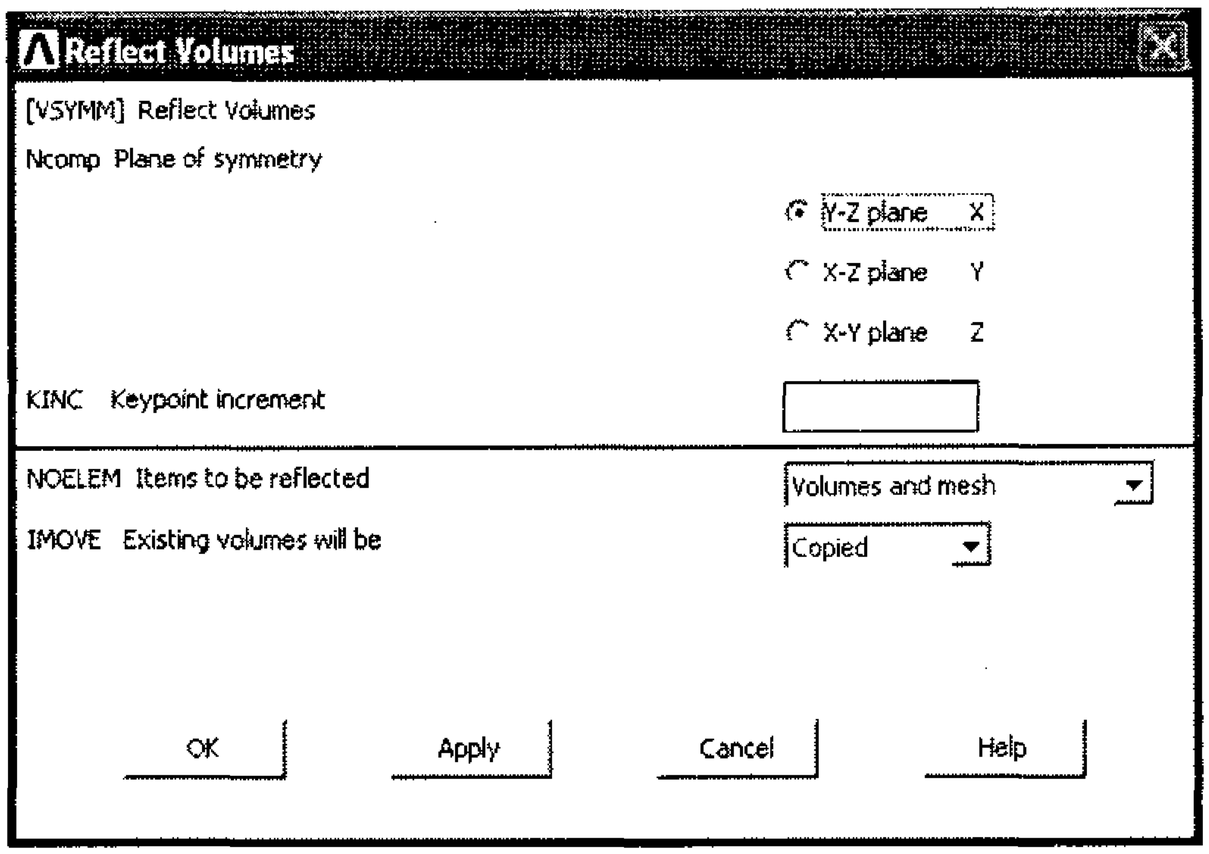
- *Nhân bản cột theo phương X*: Main Menu > Preprocessor > Modeling > Copy > Volumes > Chọn cột vừa tạo ra > OK > Xuất hiện cửa sổ Copy Volumes, nhập ITIME = 2, nhập DX = 6 như hình 6.8 > OK.



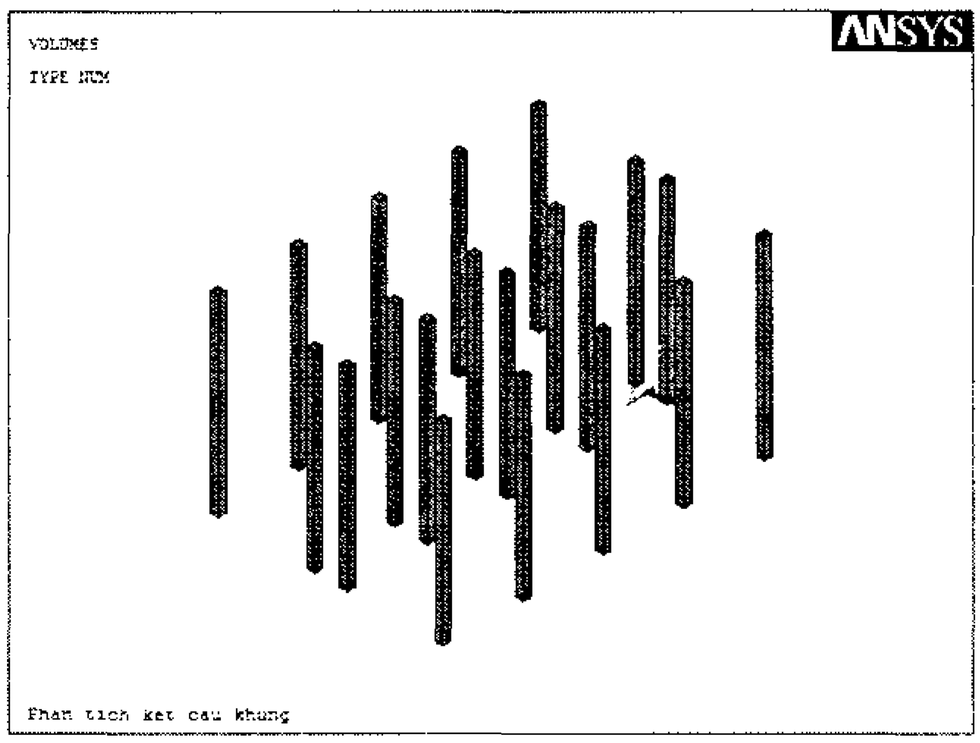
Hình 6.8. *Lệnh nhân bản thêm 6 cột*

- *Nhân bản cột theo phương Z*: Tiếp tục nhấn Pick All lại xuất hiện cửa sổ Copy Volumes, nhập ITIME = 5, nhập DZ = 5 > OK.

- *Nhân bản cột đối xứng gương*: Main Menu > Preprocessor > Modeling > Reflect > Volumes > Nhấn Pick All > Xuất hiện cửa sổ Reflect Volumes, trong VSYMM > Chọn mặt phẳng Y-Z plane như hình 6.9 > OK. Kết quả tạo tất cả các cột trong khung như ở hình 6.10.



Hình 6.9. *Lệnh nhân bản đối xứng qua mặt Y-Z*



Hình 6.10. *Cột trong khung*

- *Tạo dầm ngang ở giữa theo phương X (xem hình 6.11)*: Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Keypoint > In Active CS > xuất hiện cửa sổ Create Keypoints in Active Coordinate System, trong X, Y, X Location in active CS > Nhập toạ độ của 8 điểm đặc trưng lần lượt là 161(0.75, 3.4, -0.11), 162(0.75, 3.4, 0.11), 163(0.75, 4, 0.11), 164(0.75, 4, -0.11), 165(-0.75, 3.4, -0.11), 166(-0.75, 3.4, 0.11), 157(-0.75, 4, 0.11), 168(-0.75, 4, -0.11) > OK. Sau đó từ Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Arbitrary > Throught KPs > Lần lượt chọn các điểm đặc trưng 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168 > OK, tạo được một dầm ngang ở giữa.

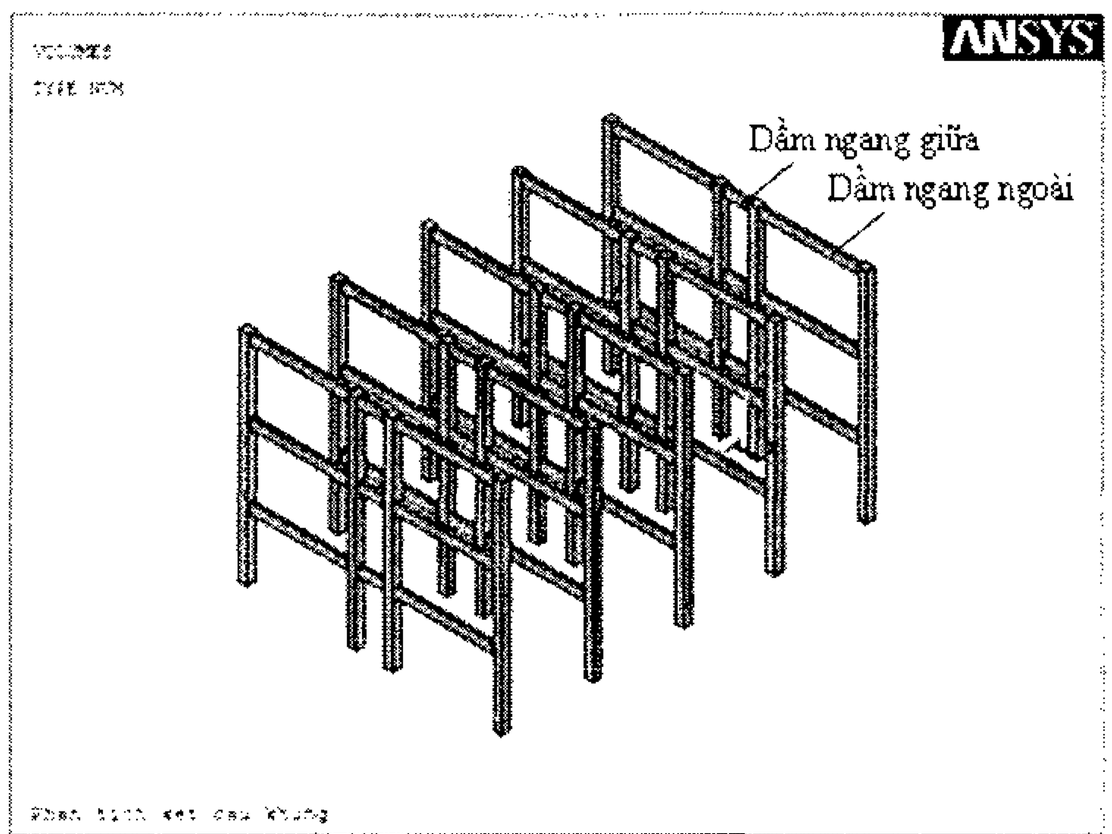
- *Nhân bản dầm ngang ở giữa theo phương Z:* Main Menu > Preprocessor > Modeling > Copy > Volumes > Chọn dầm số 21 vừa tạo ra > OK > Xuất hiện cửa sổ Copy Volumes, nhập ITIME=5, nhập DZ=5 > OK.

- *Tạo dầm ngang ở ngoài theo phương X (xem hình 6.11):* Trước hết tạo 8 điểm từ Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Keypoint > In Active CS > Xuất hiện cửa sổ Create Keypoints in Active Coordinate System, trong X, Y, X Location in active CS nhập toạ độ của 8 điểm đặc trưng lần lượt là 201(1.25, 3.4, -0.11), 202(1.25, 3.4, 0.11), 203(1.25, 4, 0.11), 204(1.25, 4, -0.11), 205(6.75, 3.4, -0.11), 206(6.75, 3.4, 0.11), 207(6.75, 4, 0.11), 208(6.75, 4, -0.11) > OK. Sau đó từ Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Arbitrary > Throught KPs > Lần lượt chọn các điểm đặc trưng 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208 > OK > Tạo dầm ngang ở ngoài.

- *Nhân bản dầm ngang ở ngoài theo phương Z*: Main Menu > Preprocessor > Modeling > Copy > Volumes > Chọn dầm số 26 vừa tạo được > OK > Xuất hiện cửa sổ Copy Volumes, nhập ITIME=5 và nhập DZ nhập giá trị 5 > OK.

- Main Menu > Preprocessor > Modeling > Reflect > Volumes > Chọn dầm 26 đến 30 xuất hiện cửa sổ Reflect Volumes, trong VSYMM lựa chọn Y-Z plane > OK.

- *Nhân bản dầm ngang giữa và ngoài theo phương* đứng Y: Main Menu > Preprocessor > Modeling > Copy > Volumes > lựa chọn dầm số 21 đến 35 > OK > OK > Xuất hiện cửa sổ Copy Volumes, trong ITIME nhập giá trị 3, trong DY nhập giá trị 4 > OK. Kết quả có kết cấu khung ngang cho ở hình 6.11.



Hình 6.11. *Kết cấu dầm ngang và cột trong khung*

- *Tạo một dầm dọc theo phương trục Z*: Từ Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Keypoint > In Active CS > Xuất hiện cửa sổ Create Keypoints in Active Coordinate System, trong X, Y, X Location in active CS nhập toạ độ của 8 điểm đặc trưng lần lượt là 521(0.89, 3.4, 0.25), 522(1.11, 3.4, 0.25), 523(1.11, 4, 0.25), 524(0.89, 4, 0.25), 525(0.89, 3.4, 4.75), 526(1.11, 3.4, 4.75), 527(1.11, 4, 4.75), 528(0.89, 4, 4.75) > OK. Tạo dầm khối từ 8 điểm đã cho ở trên > Main Menu > Preprocessor > Modeling

> Create > Volumes > Arbitrary > Throught KPs > Lần lượt chọn các điểm đặc trưng 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528 > OK > Tạo được một dầm dọc.

- *Nhân bản dầm dọc ở trên theo phương Z*: Main Menu > Preprocessor > Modeling > Copy > Volumes > Chọn dầm dọc số 66 vừa tạo ra ở trên > OK > Xuất hiện cửa sổ Copy Volumes, nhập ITIME=4, nhập DZ=5 > OK.

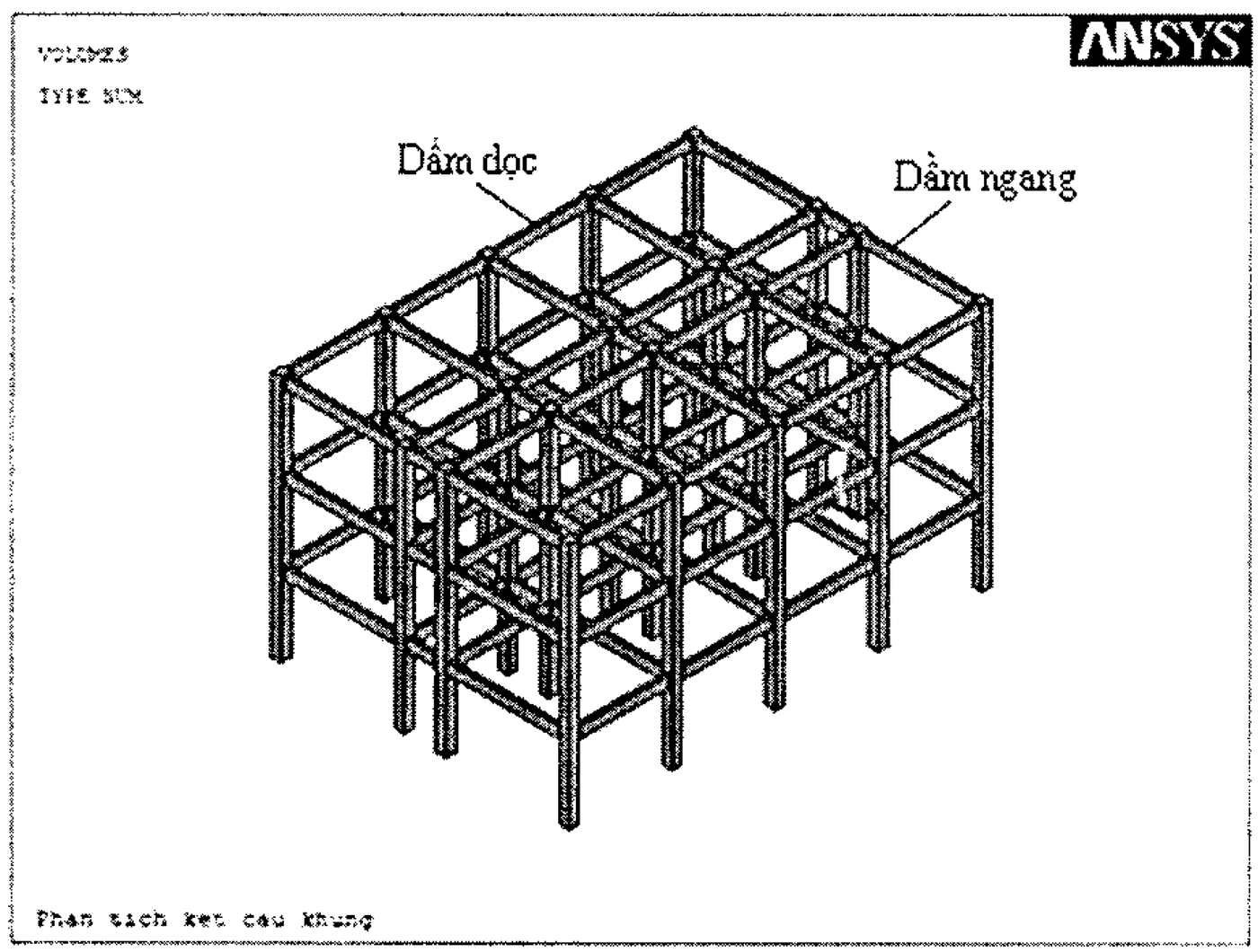
- *Nhân bản dầm dọc theo phương X*: Main Menu > Preprocessor > Modeling > Copy > Volumes > Chọn các dầm từ số 66 đến 69 > OK > Xuất hiện cửa sổ Copy Volumes, trong ITIME=2, nhập DX=6 > OK.

- *Nhân bản đối xứng gương qua mặt Y-Z*: Main Menu > Preprocessor > Modeling > Reflect > Volumes > Chọn các dầm từ 66 đến 73 > OK > Xuất hiện cửa sổ Reflect Volumes, trong VSYMM > Chọn Y-Z plane > OK.

- *Nhân bản dầm theo phương Y*: Từ Main Menu > Preprocessor > Modeling > Copy > Volumes > Chọn dầm số 66 đến 81 > OK > Xuất hiện cửa sổ Copy Volumes, nhập ITIME=3, nhập DY= 4 > OK.

Kết quả cuối cùng cho kết cấu khung như ở hình 6.12.

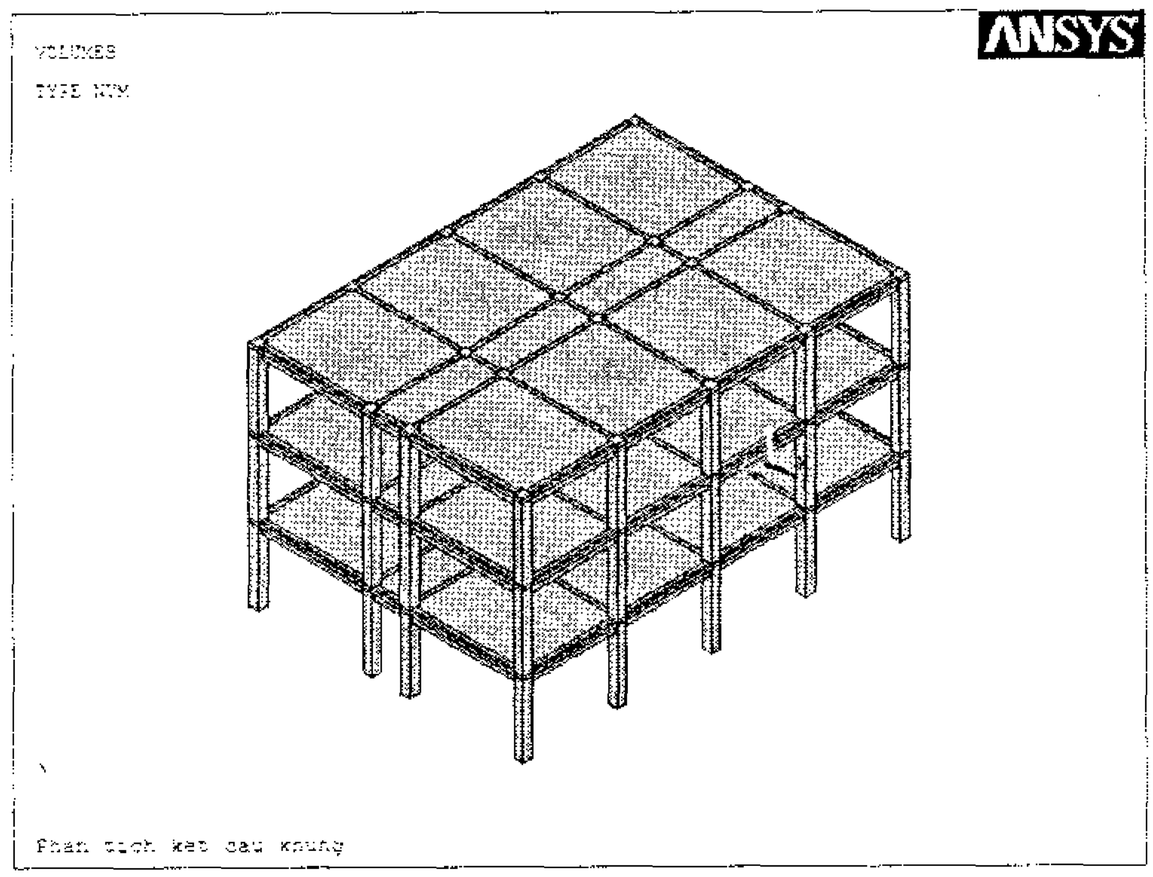
- *Tạo bản mặt sàn*: Tạo 8 điểm từ Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Keypoint > In Active CS > Xuất hiện cửa sổ Create Keypoints in Active Coordinate System, trong X, Y, X Location in active CS > Nhập giá trị toạ độ của 8 điểm đặc trưng lần lượt là 905(-7.25, 3.8, -0.25), 906(-7.25, 3.8, 20.25), 907(7.25, 3.8, 20.25), 908(7.25, 3.8, -0.25), 909(7.25, 4, -0.25), 910(-7.25, 4, 20.25), 911(7.25, 4, 20.25), 912(7.25, 4, -0.25) > OK. Vẽ phần tử SHELL thứ nhất từ Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Arbitrary > Throught KPs > Lần lượt chọn các điểm đặc trưng 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912 > OK > Tạo được một bản mặt sàn.



Hình 6.12. *Kết cấu dầm ngang và cột trong khung*

- *Nhân bản bản mặt sàn*: Main Menu > Preprocessor > Modeling > Copy > Volumes > Chọn bản mặt sàn 114 vừa tạo ra > OK > Xuất hiện cửa sổ Copy Volumes, nhập ITIME=3, nhập DY= 4 > OK.

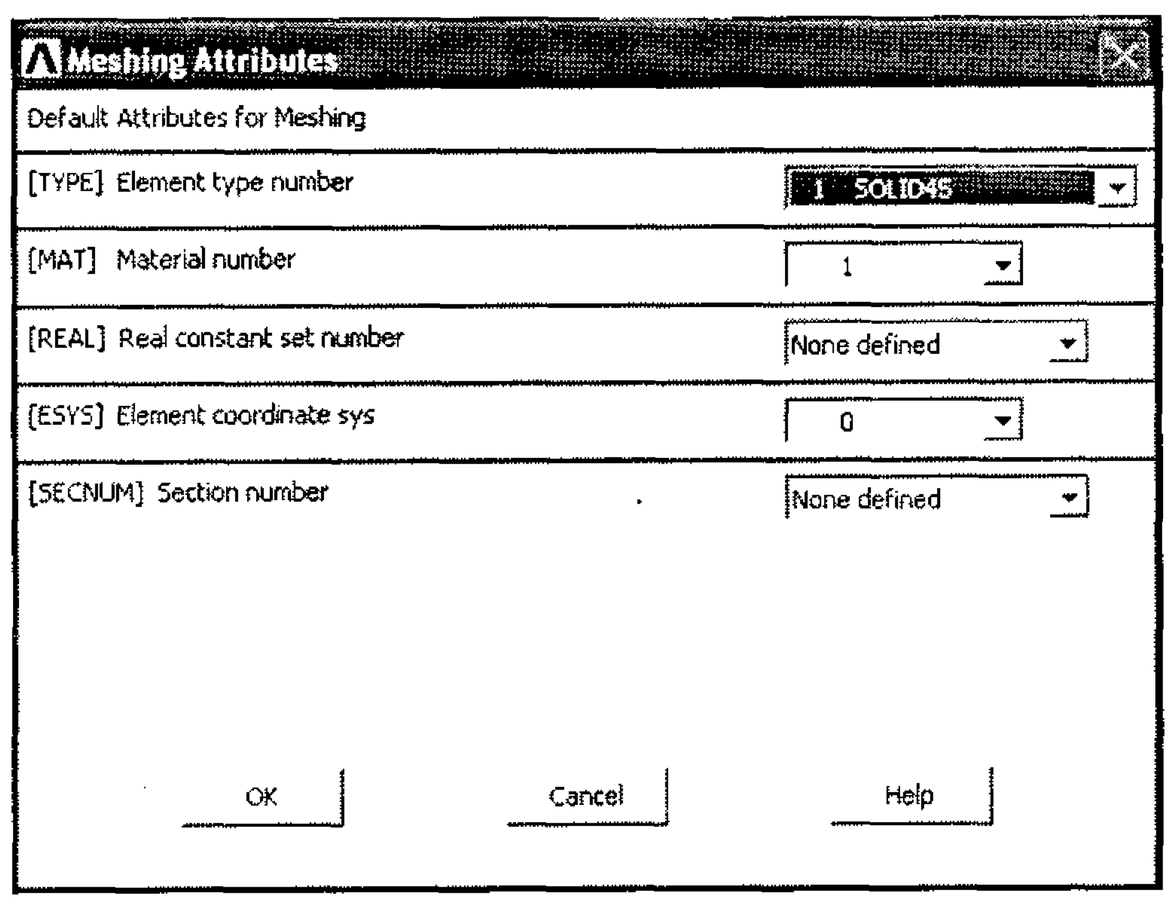
- *Kết nối khối hình học*: Từ Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Overlap > Volumes > Nhấn Pick All > Kết quả mô hình hình học kết cấu khung cho ở hình 6.13.



Hình 6.13. *Mô hình khối kết cấu khung*

Phân chia phần tử

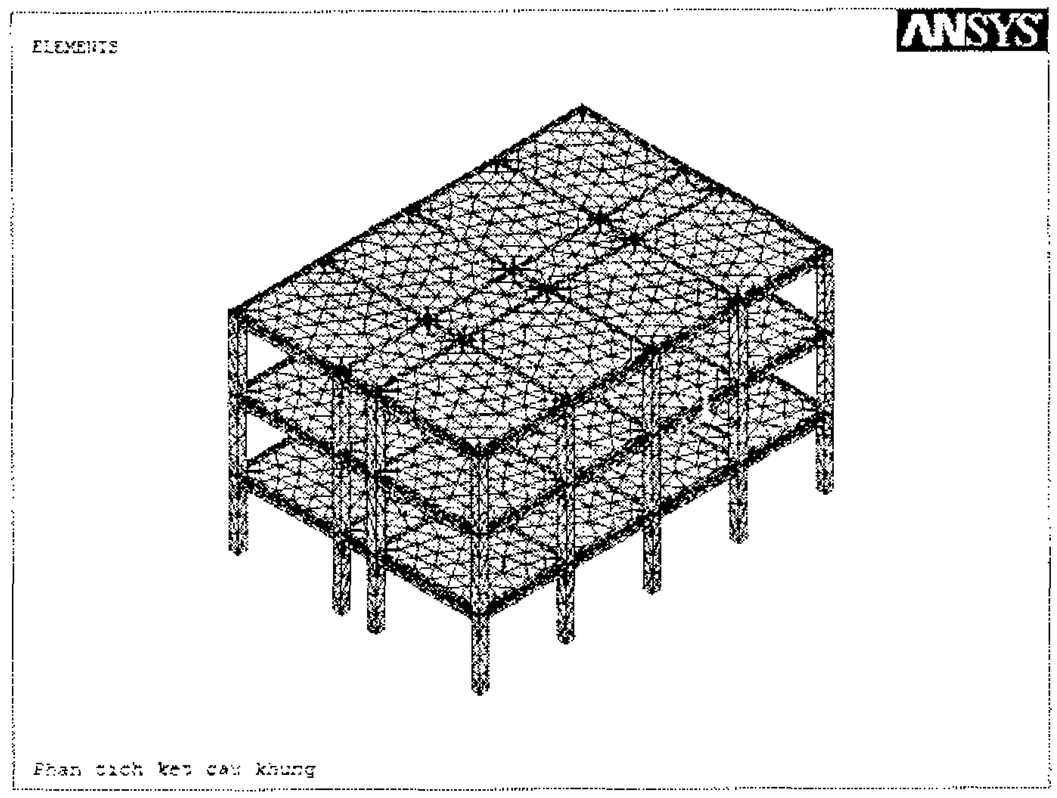
- *Định nghĩa thuộc tính phần tử*: Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > Default Attributes > Xuất hiện cửa sổ Meshing Attributes, nhập TYPE=1 SOLID45, nhập MAT=1 như hình 6.14 > OK > Để đóng cửa sổ Meshing Attributes.



Hình 6.14. *Chọn thuộc tính phần tử*

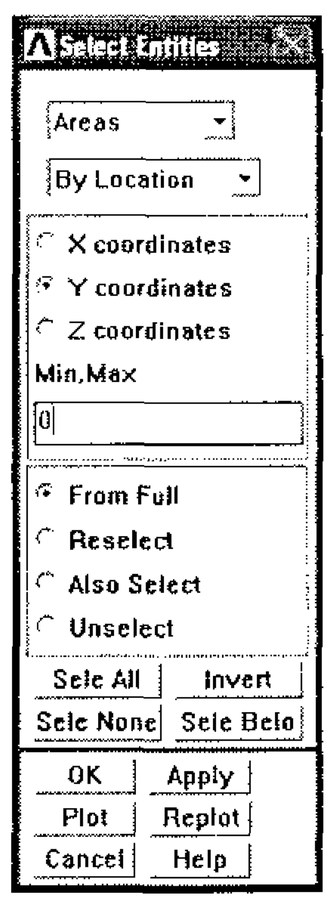
- *Chọn kích thước mạng lưới*: Main Menu > Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > Manual Size > Lines > All Lines > xuất hiện cửa sổ Element Sizes on All Selected Lines, nhập SIZE=1 (giá trị 1 biểu thị mỗi đường thẳng đều được chia thành các đoạn có chiều dài 1m) > OK.

- *Chia mạng lưới phần tử*: Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh > Volumes > Free > Nhấn Pick All bắt đầu phân chia phần tử, sau khi phân chia phần tử xong được kết quả như hình 6.15.

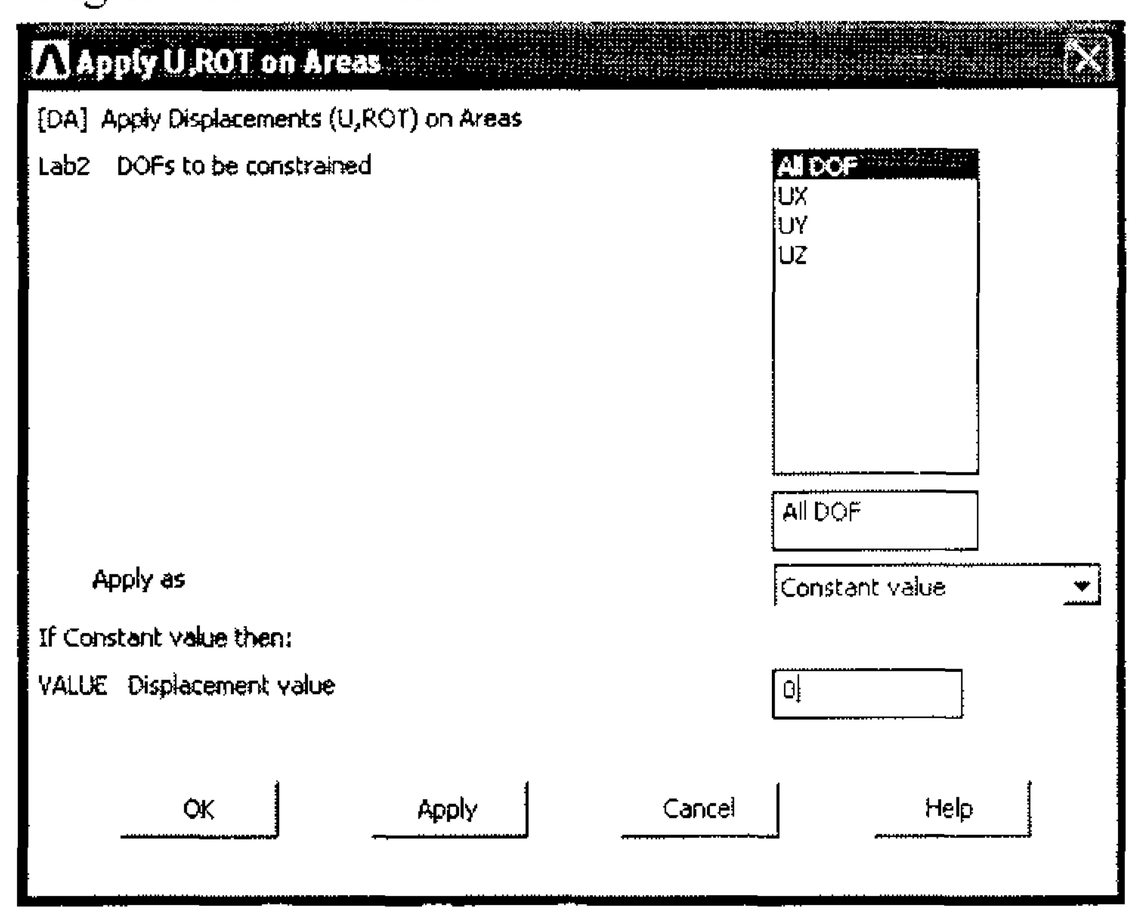


Hình 6.15. *Mô hình phần tử hữu hạn kết cấu khung*

- *Gán điều kiện biên*: Utility Menu > Select > Entities > Xuất hiện cửa sổ Select Entities như hình 6.16, sau khi lựa chọn cụ thể như hình 6.16 > OK. Từ Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Areas > Nhấn Pick All > Xuất hiện cửa sổ Apply U, ROT on Areas như hình 6.17, trong DOFs to be constrained > Chọn All DOF, trong Apply as chọn Constant value, trong Displacement value nhập giá trị 0 > OK > Đóng cửa sổ khai báo.



Hình 6.16. *Chọn mặt*



Hình 6.17. *Gán ràng buộc chuyển vị*

- *Gán gia tốc trọng trường*: Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Inertia > Gravity > Grobal > Xuất hiện cửa sổ Apply (Gravitational) Acceleration, trong Global Cartesian Y - comp nhập giá trị gia tốc trọng trường 9.81 sau đó nhấn OK hoàn thành gán gia tốc trọng trường.

Tính toán tĩnh lực

- *Chọn loại hình phân tích*: Main Menu > Solution > Analysis > New Analysis > xuất hiện cửa sổ New Analysis, trong Type of analysis nhấn lựa chọn Static, sau đó nhấn OK.

- *Bắt đầu tính toán*: Main Menu > Solution > Solve > Current LS > Xuất hiện hai cửa sổ /STATUS Command và Solve Curent Load Step tóm tắt toàn bộ các thông tin trước khi tính toán. Nhấn > OK để bắt đầu quá trình tính toán. Kết thúc tính toán khi có thông báo Solution is done > Close.

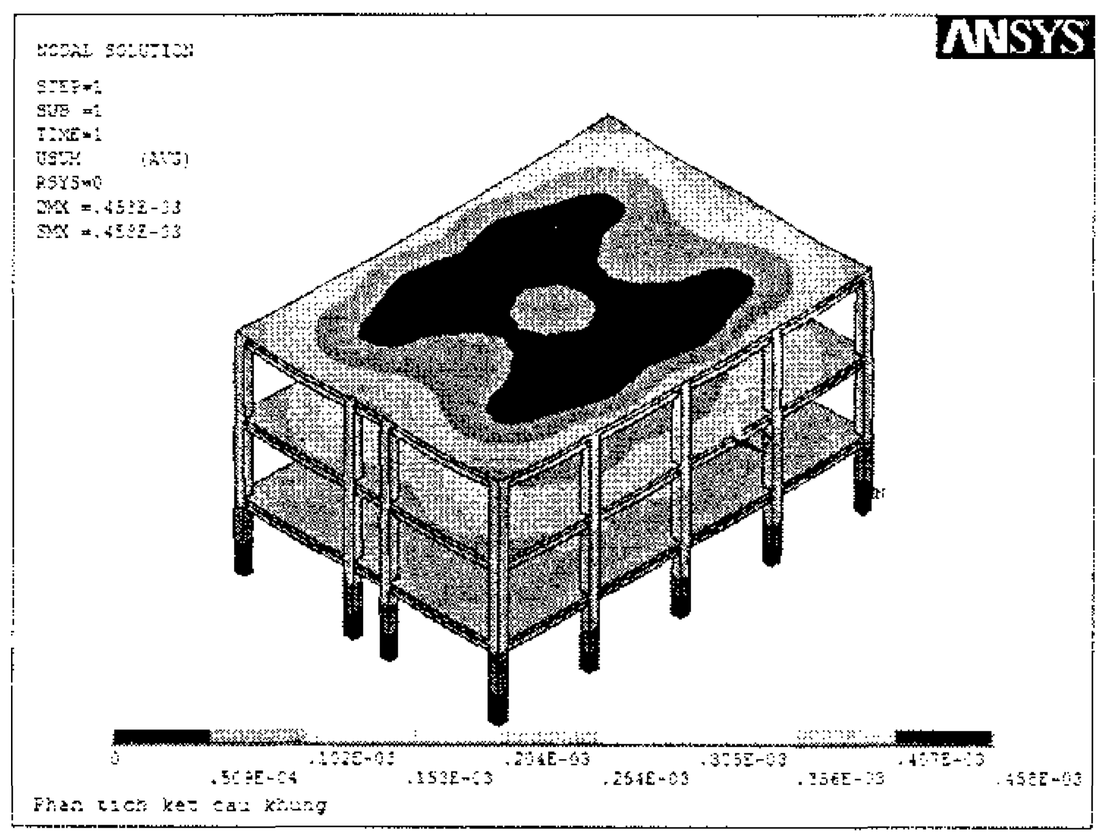
b) Xuất kết quả tính toán

- *Hiển thị phổ chuyển vị*: Main Menu > General Postproc > Plot Result > Contour Plot > Nodal Solu > Xuất hiện cửa sổ Contour Nodal Solution Data, dùng chuột nhấn theo đường dẫn Nodal Solution > DOF Solution > Displacement vector sum, sau đó lại nhấn OK sẽ được phổ chuyển vị tổng như hình 6.18.

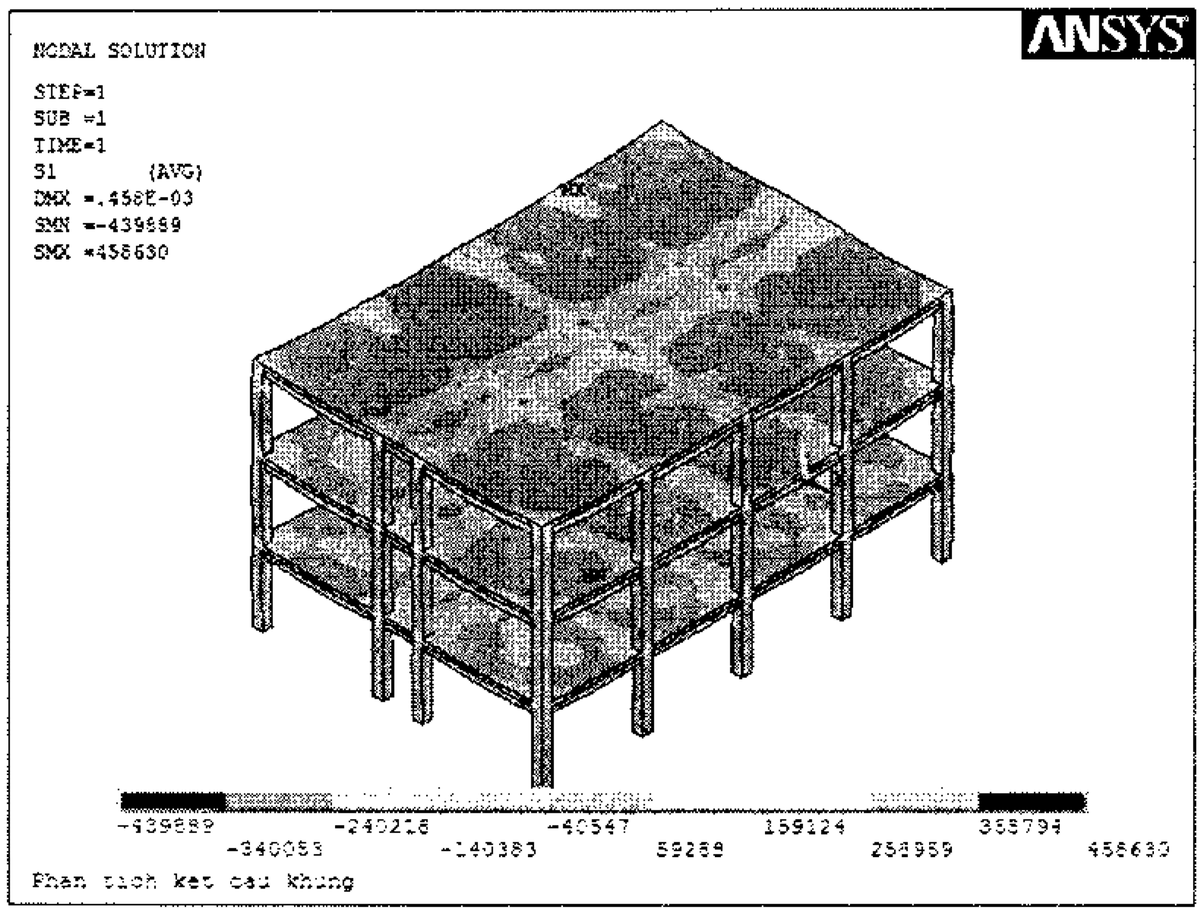
- *Hiển thị phổ ứng suất chính*: Main Menu > General Postproc > Plot Result > Contour Plot > Nodal Solu > Xuất hiện cửa sổ Contour Nodal Solution Data, dùng chuột nhấn theo đường dẫn Nodal Solution > Stress > 1st Principal stress, sau đó lại nhấn OK sẽ được phổ ứng suất chính S1 như hình 6.19.

Hiển thị hoặc liệt kê các kết quả khác cũng được thực hiện tương tự như các ví dụ tính toán trước, trong ví dụ này không giới thiệu lại nữa.

- *Lưu và thoát khỏi chương trình*: Nhấn Quit trên thanh công cụ xuất hiện cửa sổ Exit from ANSYS, sau khi lựa chọn một phương thức lưu > OK để thoát khỏi chương trình.



Hình 6.18. *Phổ chuyển vị kết cấu*



Hình 6.19. Phổ ứng suất chính S1 của kết cấu

2. Giải theo phương thức COMMAND

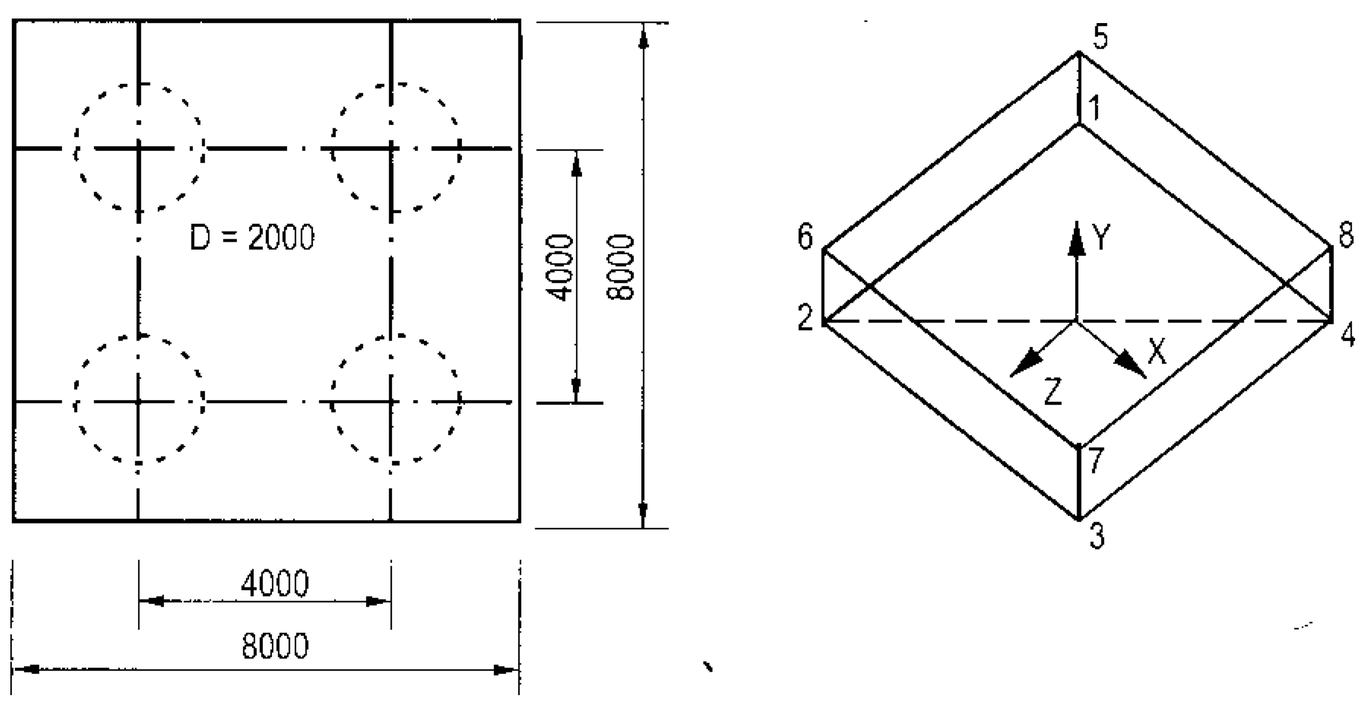
```
/BATCH
/TITLE, Phan tich ket cau khung
/COM, Structural                !Lựa chọn loại hình phân tích là phân tích kết cấu
/PREP7                          !Tiền xử lý
ET,1,SOLID45                    !Định nghĩa loại hình phần tử số 1
MP,EX,1,3E17                    !Định nghĩa thuộc tính mô đun đàn hồi vật liệu 1
MP,DENS,1,2.55                  !Định nghĩa khối lượng vật liệu 1
MP,PRXY,1,0.2                   !Định nghĩa hệ số Poisson vật liệu 1
K,1,1.25,0,0.25                 !Định nghĩa điểm đặc trưng
K,2,1.25,0,-0.25
K,3,0.75,0,0.25
K,4,0.75,0,-0.25
K,5,1.25,12,0.25
K,6,1.25,12,-0.25
K,7,0.75,12,0.25
K,8,0.75,12,-0.25
V,1,2,4,3,5,6,8,7               !Tạo khối cột
VGEN,2,ALL,,,6,,,,0             !Nhân bản khối
VGEN,5,ALL,,,,,5,,0
VSYMM,X,ALL,,,,0,0              !Đối xứng khối
K,,0.75,3.4,-0.11               !Định nghĩa điểm đặc trưng
K,,0.75,3.4,0.11
K,,0.75,4,0.11
K,,0.75,4,-0.11
```

```
K,,-0.75,3.4,-0.11
K,,-0.75,3.4,0.11
K,,-0.75,4,0.11
K,,-0.75,4,-0.11
V,161,162,163,164,165,166,167,168        !Thiết lập khối dầm
VGEN,5,21,,,,,5,,0                       !Nhân bản khối
K,,1.25,3.4,-0.11                        !Định nghĩa điểm đặc trưng
K,,1.25,3.4,0.11
K,,1.25,4,0.11
K,,1.25,4,-0.11
K,,6.75,3.4,-0.11
K,,6.75,3.4,0.11
K,,6.75,4,0.11
K,,6.75,4,-0.11
V,201,202,203,204,205,206,207,208        !Thiết lập khối dầm
VGEN,5,26,,,,,5,,0                       !Nhân bản khối
VSYMM,X,26,30,,,0,0                      !Đối xứng khối
VGEN,3,21,35,,,4,,,0                     !Nhân bản khối
K,,0.89,3.4,0.25                         !Định nghĩa điểm đặc trưng
K,,1.11,3.4,0.25
K,,1.11,4,0.25
K,,0.89,4,0.25
K,,0.89,3.4,4.75
K,,1.11,3.4,4.75
K,,1.11,4,4.75
K,,0.89,4,4.75
V,521,522,523,524,525,526,527,528        !Thiết lập khối dầm
VGEN,4,66,,,,,5,,0                       !Nhân bản khối
VGEN,2,66,69,,6,,,,0                     !Nhân bản khối
VSYMM,X,66,73,,,0,0                      !Đối xứng khối
VGEN,3,66,81,,,4,,,0                     !Nhân bản khối
K,,-7.25,3.8,-0.25                       !Định nghĩa điểm đặc trưng
K,,-7.25,3.8,20.25
K,,7.25,3.8,20.25
K,,7.25,3.8,-0.25
K,,-7.25,4,-0.25
K,,-7.25,4,20.25
K,,7.25,4,20.25
K,,7.25,4,-0.25
V,905,906,907,908,909,910,911,912        !Thiết lập khối bản mặt
VGEN,3,114,,,,4,,,0                      !Nhân bản khối
VOVLAP,ALL                               !Kết nối khối
```

```
LESIZE,ALL,1,,,,1,,,1,                    !Chọn kích thước phần tử
TYPE,1                                    !Chọn loại hình phần tử
MAT,1                                     !Gán thuộc tính vật liệu
ESYS,0                                    !Hệ toạ độ đơn vị
MSHAPE,1,3D                               !Định nghĩa hình thức khối phần tử
MSHKEY,0                                  !Phương thức phân chia
VMESH,ALL                                 !Phân chia phần tử
ASEL,S,LOC,Y,0                            !Chọn mặt
DA,ALL,ALL,                               !Ràng buộc tất cả độ tự do
ALLSEL,ALL                                !Chọn tất cả kết cấu
ACEL,0,9.81,0,                            !Gán gia tốc trọng trường
FINISH
/SOLU                                     !Giải bài toán
ANTYPE,0                                  !Chọn loại hình phân tích
SOLVE                                     !Giải bài toán
/POST1                                    !Hậu xử lý
PLDISP,2                                  !Hiển thị biến dạng kết cấu
PLNSOL,U,SUM,0,1.0                        !Hiển thị phổ mầu tổng chuyển vị
PLNSOL,S,1,2,1.0                          !Hiển thị phổ mầu ứng suất chính S1
PLNSOL,S,3,2,1.0                          !Hiển thị phổ mầu ứng suất chính S3
PRRSOL,F                                  !Hiển thị kết quả phản lực
FINISH
!/EXIT,ALL          !Thoát ra khỏi ANSYS đồng thời lưu tất cả các thông tin
```

• Ví dụ 6.2. Phân tích kết cấu đài và cọc

Kết cấu đài vá cọc có kích thước trên mặt bằng như ở hình 6.20. Đài cọc dày 2.0m, đường kính cọc D=2m, chiều dài cọc 20m, đáy cọc đặt trên nền đá. Đài cọc chịu tải trọng phân bố đều q=1800kN/m^2 tác dụng lên mặt trên đài cọc. Vật liệu đài và cọc bằng bê tông có mô đun đàn hồi $E_b = 3\times10^7$kN/m^2, hệ số Poisson $\mu_b = 0.2$, trọng lượng riêng $\gamma_b = 25$kN/m^3.



Hình 6.20. *Mặt bằng đài và cọc (đơn vị: mm)*

1. Giải theo phương thức GUI

a) Xây dựng mô hình tính toán

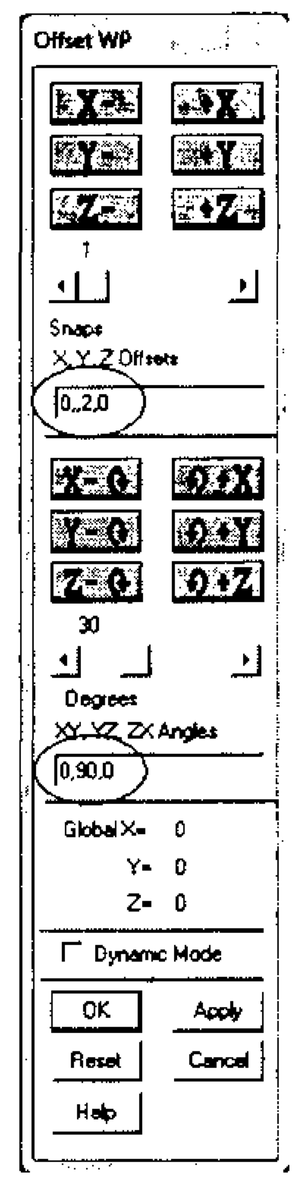
- *Giới hạn hiển thị chức năng tính toán*: Main Menu > Preference > Xuất hiện cửa sổ Preferences for GUI Filtering > Nhấn chọn Structural.

- *Định nghĩa tiêu đề công việc*: Utility Menu > File > Change Title > Xuất hiện cửa sổ Change title, nhập tên công việc "Phan tich ket cau dai va coc" > OK.

- *Chọn loại phần tử*: Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Xuất hiện cửa sổ Element Types > Add > Xuất hiện cửa sổ Library of Element Types > . Trong cửa sổ bên trái chọn Structural Solid tương ứng bên phải lựa chọn Brick 8node45 > OK hoàn thành định nghĩa phần tử SOLID45 > Close để đóng cửa sổ Element Types.

- *Gán thuộc tính vật liệu*: Main Menu > Preprocessor > Material Props > Material Models > xuất hiện cửa sổ Define Material Model Behavior, trong cửa sổ bên phải nhấn đúp theo đường dẫn Structural > Linear > Elastic > Isotropic > Xuất hiện cửa sổ Linear Isotropic Properties for Material Number 1, nhập EX = 3E7, nhập PRXY = 0.2 > OK đóng cửa sổ khai báo. Tiếp tục trong cửa sổ Define Material Model Behavior nhấn đúp vào Density xuất hiện cửa sổ Density for Material Number 1, nhập khối lượng riêng DENS = 2.55 > OK.

- *Tạo khối đài cọc*: Trước hết tạo 8 điểm đặc trưng đài cọc từ Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Keypoint > In Active CS > Xuất hiện cửa sổ Create Keypoints in Active Coordinate System, nhập NPT Keypoint number =1, trong X, Y, X Location in active CS nhập toạ độ (-4, 0, -4) > Apply, tạo được điểm đặc trưng 1. Tương tự nhập toạ độ các điểm 2(-4, 0, 4), 3(4, 0, 4), 4(4, 0, -4), 5(-4, 2, -4), 6(-4, 2, 4), 7(4, 2, 4), 8(4, 2, -4) > OK. Tạo khối đài cọc từ Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Arbitrary > Throught KPs > Lần lượt dùng chuột chọn các điểm đặc trưng 1, 2, 4, 3, 5, 6, 7, 8 > OK > Ta có khối đài cọc như hình 6.21.



Hình 6.21

- *Tạo cọc dạng khối*: Trước hết nhập vị trí cọc tại các điểm 9(-2, 2, -2), 10(-2, 2, 2), 11(2, 2, 2) và 12 (2, 2, -2) > OK., để tạo khối cọc

- *Di chuyển hệ tọa độ cục bộ và xoay*: Utility Menu > WorkPlane > Offset WP by Increments > Xuất hiện cửa sổ như hình 6.22, trong cửa sổ tại X, Y, Z Offsets nhập giá trị (0, 2, 0) > Apply > Trong cửa sổ tại XY, YZ, ZX Angles nhập giá trị (0, 90, 0), sau đó nhấn OK.

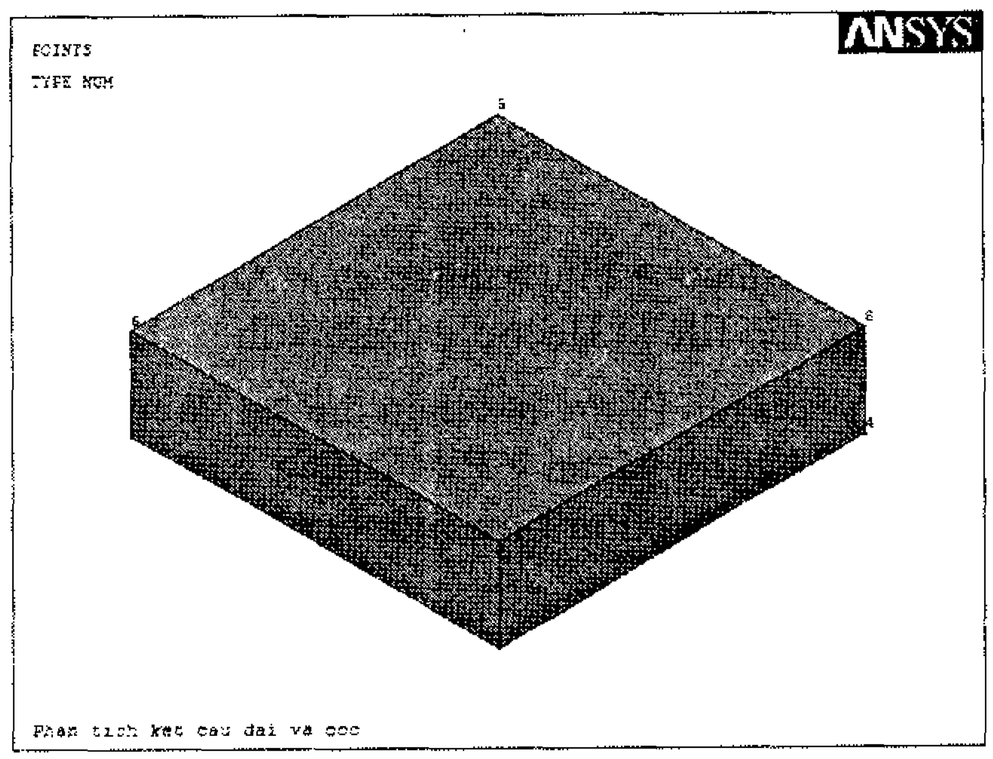
- *Tạo khối trụ tròn*: Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Volumes > Cylinder > Hollow Cylinder > Xuất hiện cửa sổ Hollow Cylinder như hình 6.23, lần lượt nhập thông số của 4 khối cọc:

Cọc 1: WP X=-2, WP Y=-2, Rad-1=1; Rad-2=1 (hoặc để trống), Depth=22 > Apply.

Cọc 2: WP X=-2, WP Y=2, Rad-1=1; Rad-2=1 (hoặc để trống), Depth=22 > Apply.

Cọc 3: WP X=2, WP Y=2, Rad-1=1; Rad-2=1 (hoặc để trống), Depth=22 > Apply

Cọc 4: WP X=2, WP Y=-2, Rad-1=1; Rad-2=1 (hoặc để trống), Depth=22 > OK

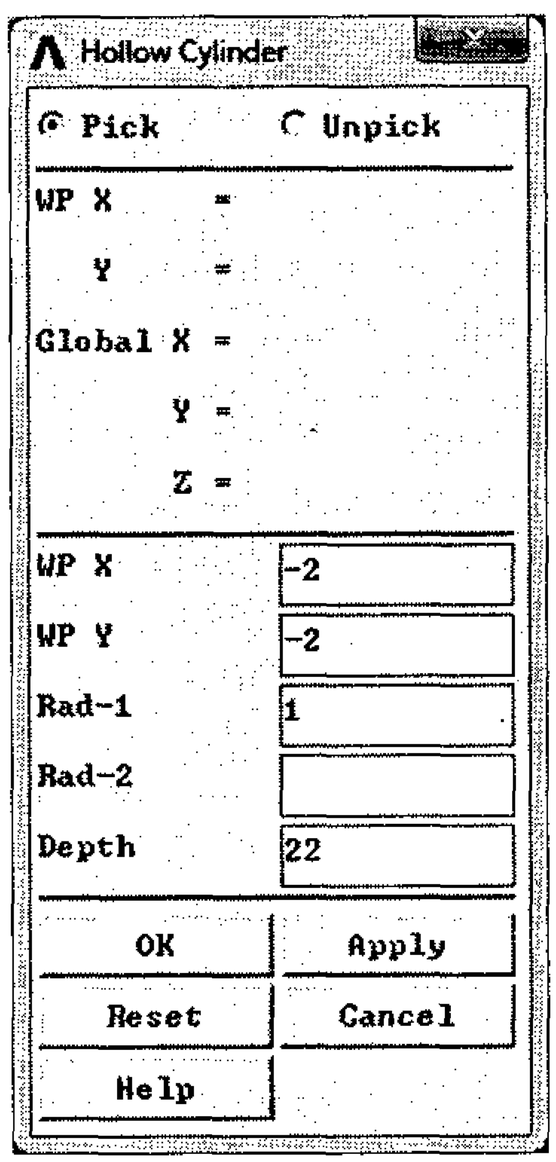


Hình 6.22. *Khối đài cọc*

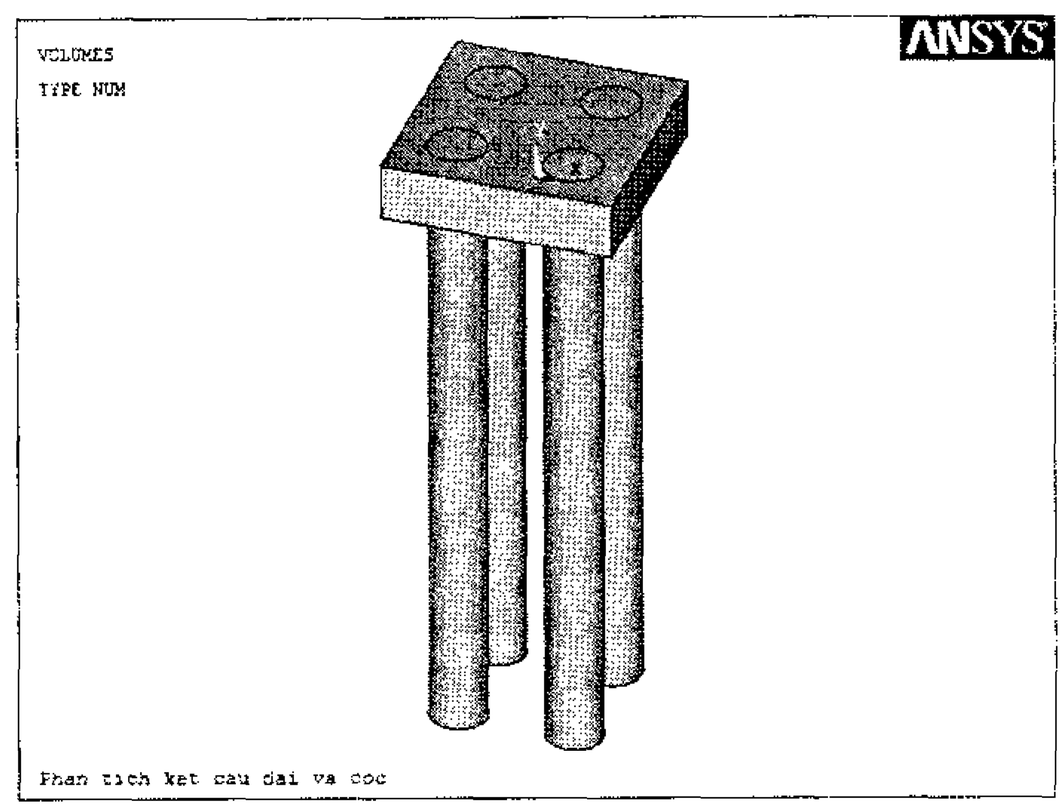
- *Di chuyển hệ tọa độ cục bộ và xoay*: Utility Menu > WorkPlane > Offset WP by Increments > xuất hiện cửa sổ Offset WP, trong cửa sổ tại XY, YZ, ZX Angles nhập giá trị (0,-90,0) > Apply > trong cửa sổ tại X, Y, Z Offsets nhập giá trị (0,-2,0), sau đó nhấn OK.

- *Nối tiếp khối hình học*: Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Overlap > Volumes > sau đó nhấn Pick All.

Kết quả mô hình hình học kết cấu hệ cọc cho ở hình 6.24.



Hình 6.23. *Tạo khối cọc*

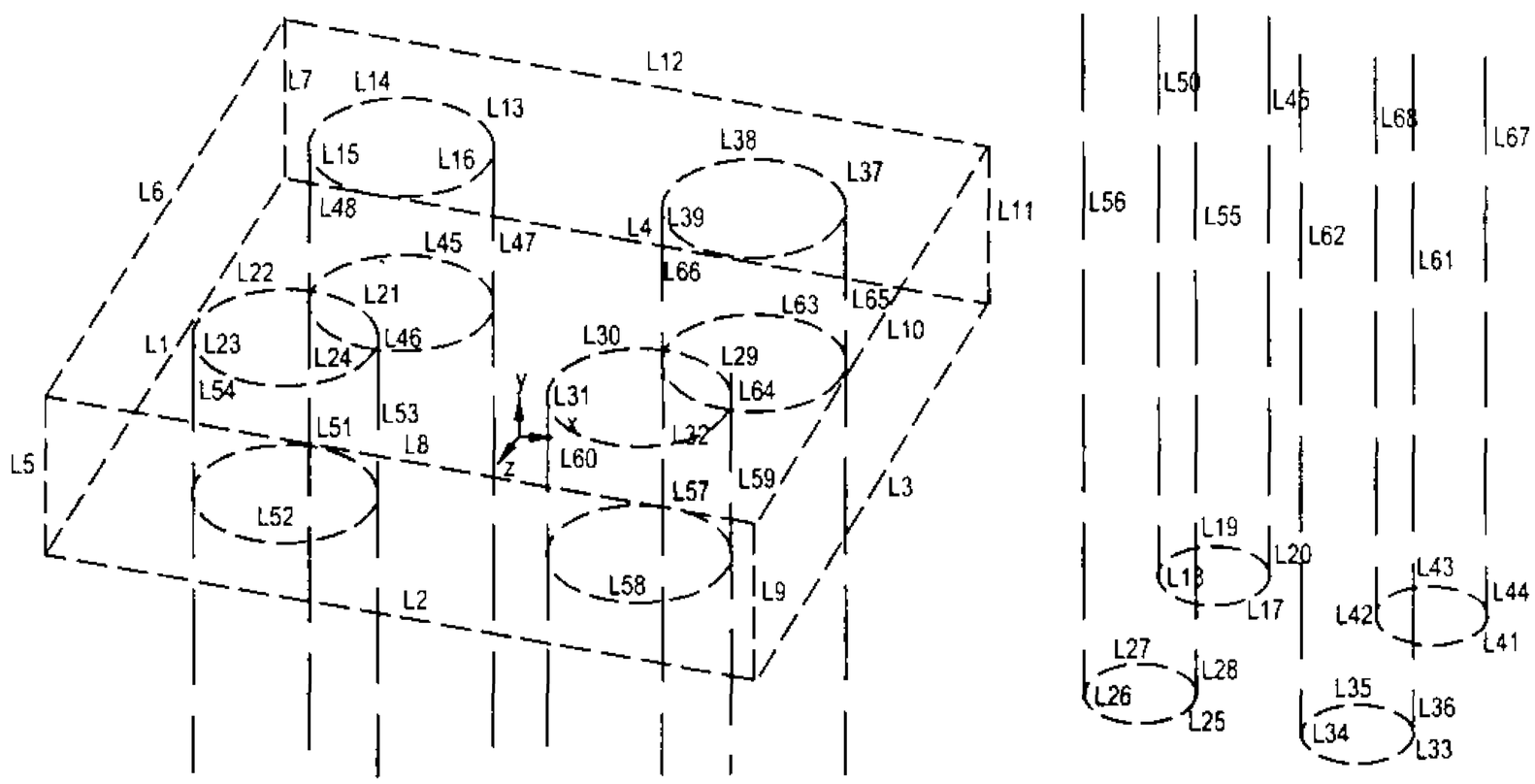


Hình 6.24. *Mô hình hình học toàn hệ cọc*

- *Hợp nút và phần tử trùng nhau*: Main Menu > Preprocessor > Numbering Ctrls > Merge Items > Xuất hiện cửa sổ Merge Coincident or Equivalently Defined Items, trong Label > Chọn All > OK. Main Menu > Preprocessor > Numbering Ctrls > Compress Number > xuất hiện cửa sổ Compress Numbers, trong Label lựa chọn All > OK để đóng cửa sổ Compress Numbers.

- *Lưu file mô hình*: Utility Menu > File > Save as > Xuất hiện cửa sổ Save Database, trong Save Database to nhập tên file là Hecoc_mohinh.db > OK.

- *Phân chia mạng lưới phần tử*: Trước hết hiện đường và mã hiệu của các phần tử từ Utility Menu > Plot > Lines. Utility Menu > PlotCtrls > Numbering... > Xuất hiện bảng Plot Numbering Controls, nhấn lựa chọn Line numbers > OK. Mã hiệu đường trong mô hình cho ở hình 6.25.



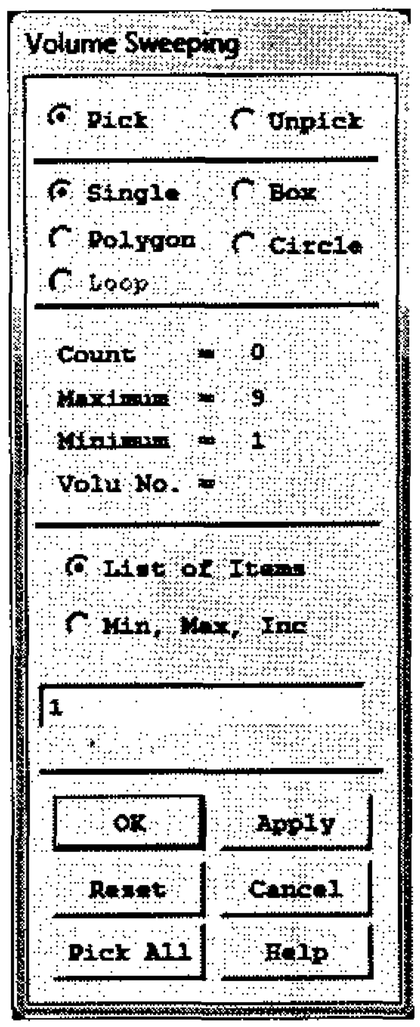
Hình 6.25. *Mã hiệu đường trong mô hình*

- *Định nghĩa số lượng phần tử trên đường*: Từ Preprocessor > Meshing > Size Contrls > ManualSize > Lines > Pick Lines > Xuất hiện bảng Element Size > Nhấn chuột vào các đường L5, L7, L9, L11, L47, L48, L53, L54, L59, L60, L65, L66 (các đường theo phương chiều dày đài cọc, xem hình 6.25) > Apply > Xuất hiện bảng Element Size on Lines > Nhập NDIV=2 > Apply > Tiếp tục nhấn chuột vào đường L1, L2, L3, L4, L6, L8, L10, L12 (các đường chu vi đài cọc) > Apply > Nhập NDIV=12 > Apply > Tiếp tục nhấn chuột vào đường L13, L14, L15, L16, L21, L22, L23, L24, L29, L30, L31, L32, L37, L38, L39, L40 (các đường chu vi cọc trên mặt đài) > Apply > Nhập NDIV=4 > Apply > Tiếp tục nhấn chuột vào đường L45, L46, L51, L52, L57, L58, L63, L64 (các đường chu vi cọc đáy đài) > Apply > Nhập NDIV=8 > Apply > Tiếp tục nhấn chuột vào đường L17, L18, L19, L20, L25, L26, L27, L28, L33, L34, L35, L36, L41, L42, L43, L44 (các đường chu vi cọc đáy cọc) > Apply > Nhập NDIV=4 > Apply > Tiếp tục nhấn chuột vào đường L49, L50, L55, L56, L61, L62, L67, L68 (các đường theo chiều dài cọc) > OK > Nhập NDIV = 8 > OK.

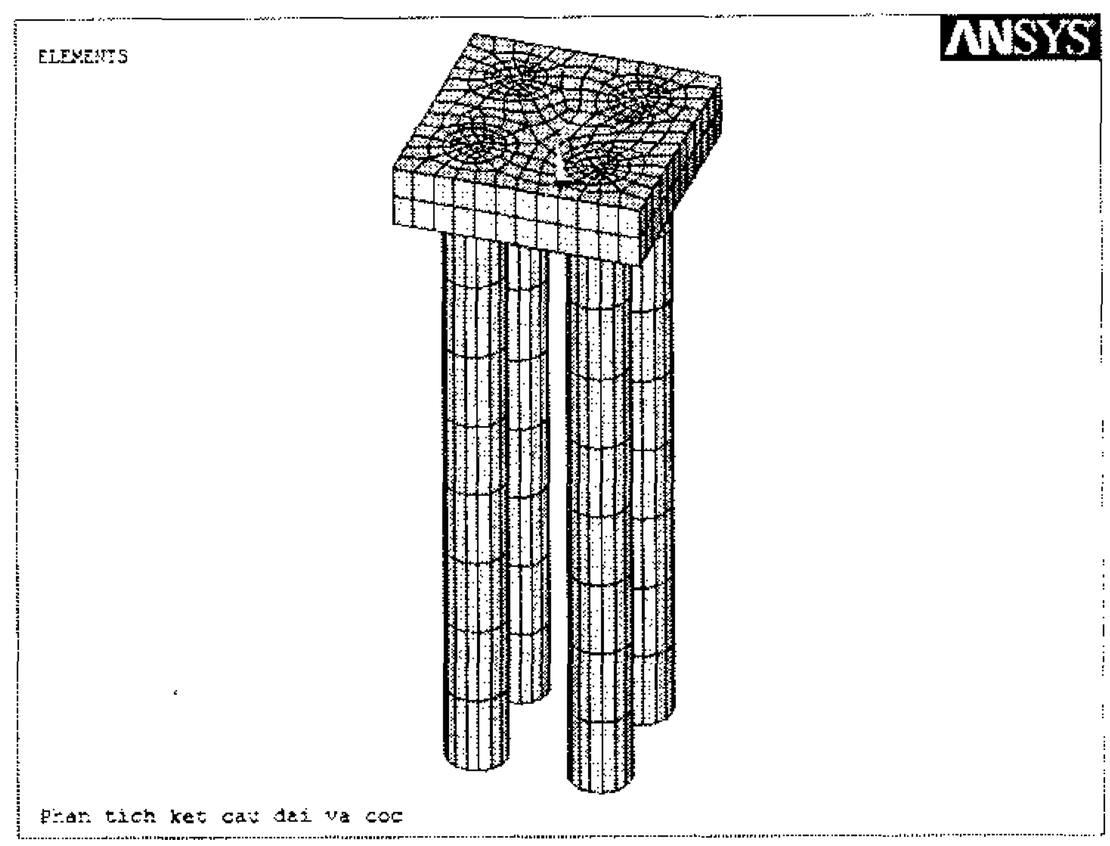
- *Phân chia mạng lưới phần tử*: Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh > Volume Sweep > Sweep > Xuất hiện cửa sổ Volume Sweeping như hình 6.26, trong cửa sổ lần lượt nhập từ 1 đến 9, mỗi lần nhập đều nhấn Apply, cuối cùng nhấn OK để hoàn

thành phần chia mạng lưới phần tử. Mạng lưới phần tử hữu hạn hệ đài cọc cho ở hình 6.27.

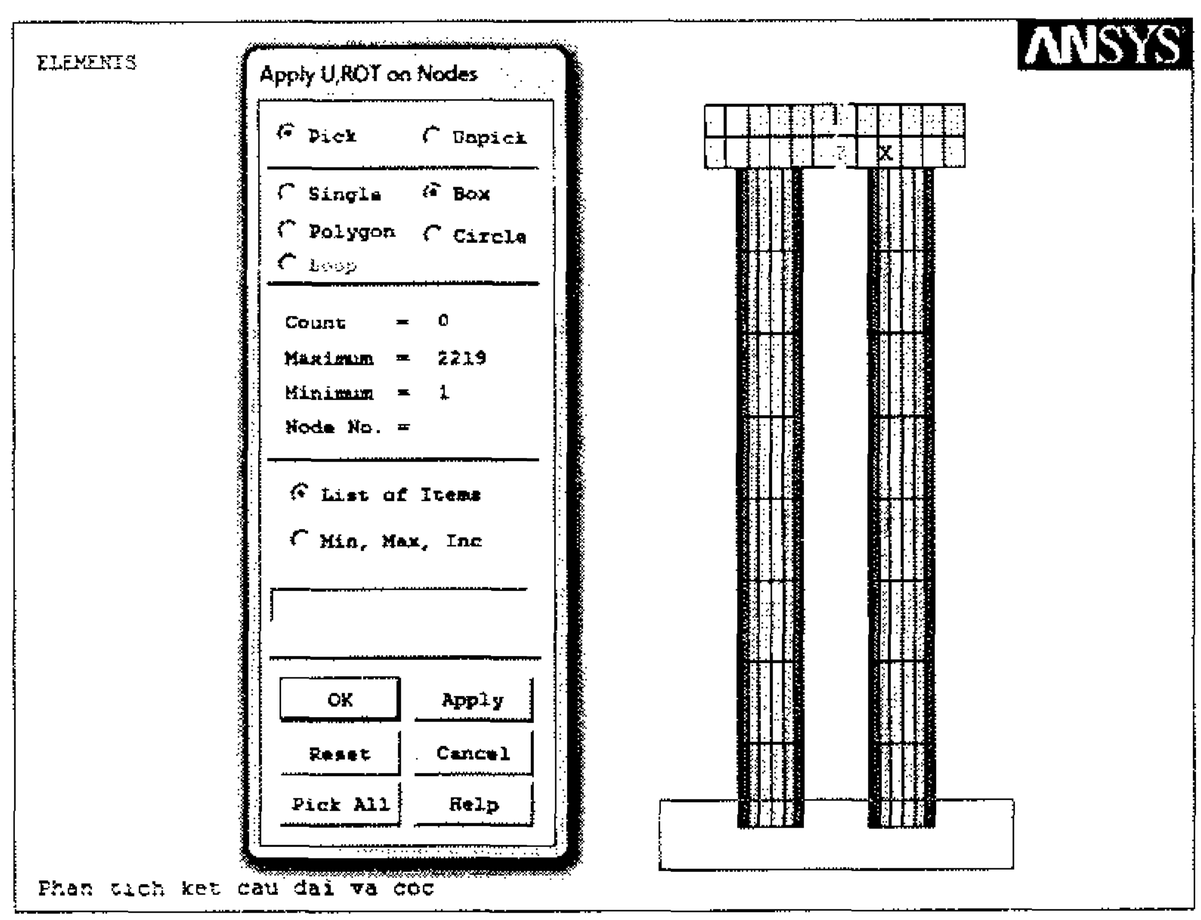
- *Gán ràng buộc chuyển vị nút đáy cọc*: Đầu tiên trên thanh công cụ bên phải nhấn nút để đưa mô hình kết cấu về hình chiếu cạnh. Từ Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Nodes > Xuất hiện bảng Apply U, ROT on Nodes > Chọn ⊙ Box > Dùng chuột kéo một hình chữ nhật để bao toàn bộ các điểm nút đáy cọc như hình 6.28 > Nhấn OK > Xuất hiện bảng Apply U, ROT on Nodes > Chọn UX, UY, UZ, nhập Displacement Value = 0 > OK.



Hình 6.26



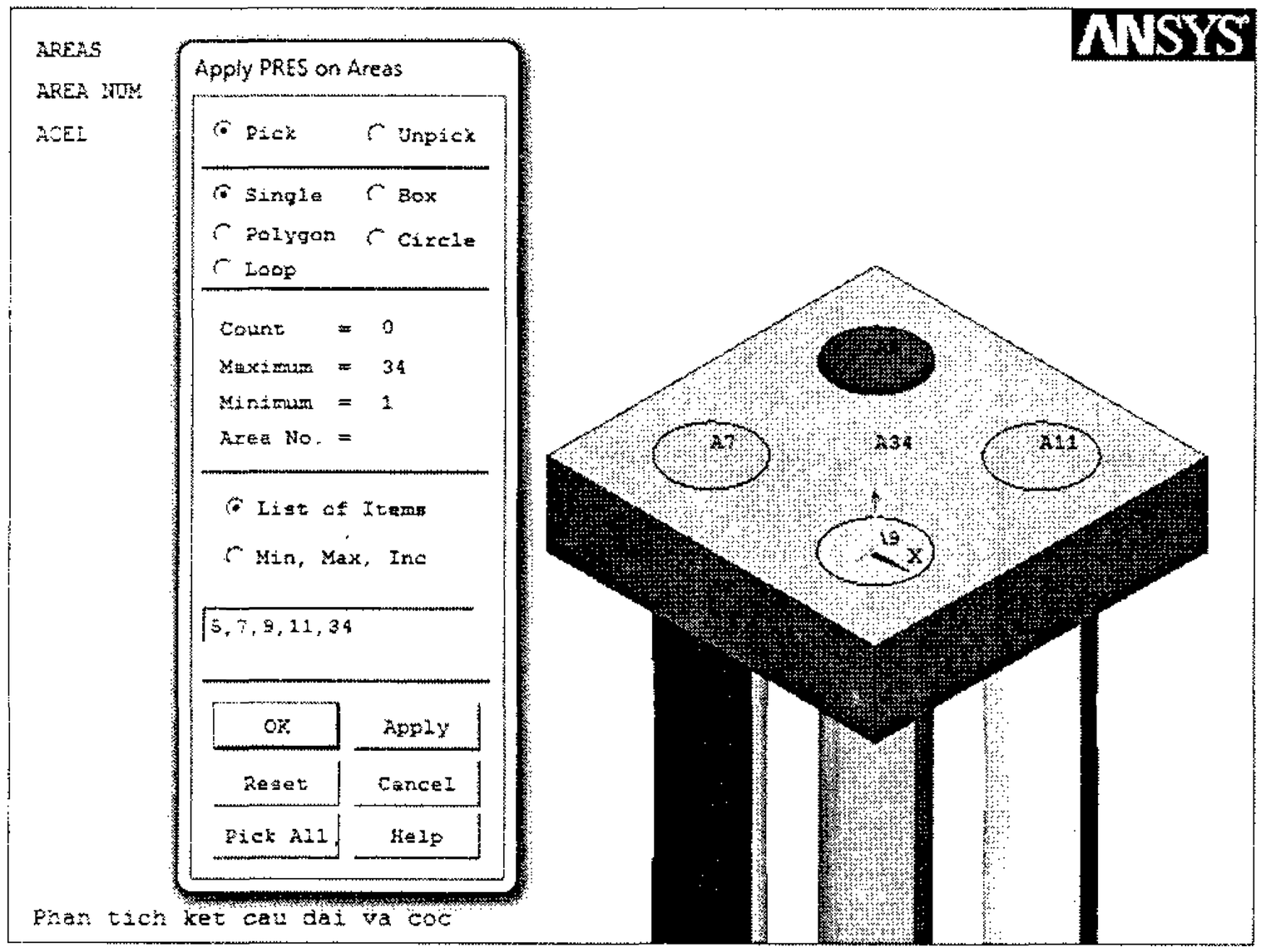
Hình 6.27. Mô hình PTHH hệ đài cọc



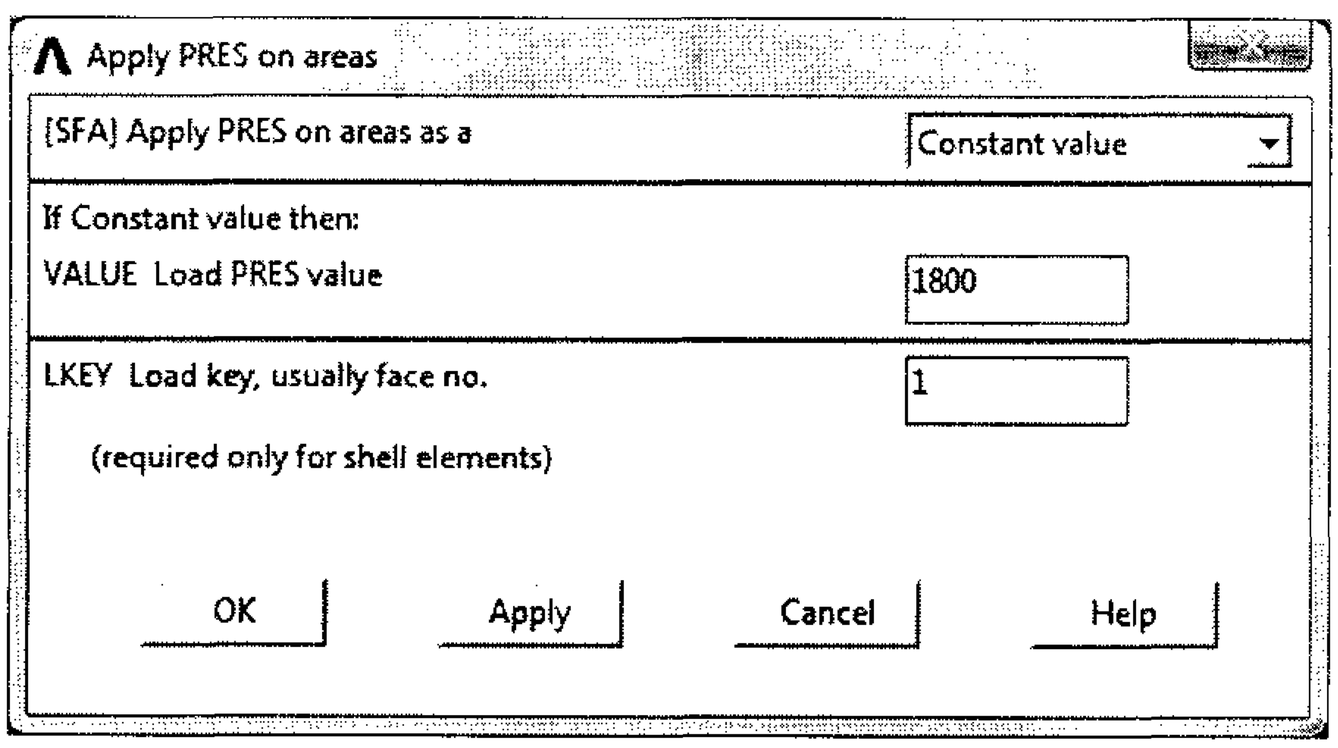
Hình 6.28. Gán ràng buộc chuyển vị nút đáy cọc

- *Gán gia tốc trọng trường*: Main Menu > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Inertia > Gravity > Grobal > Xuất hiện cửa sổ Apply (Gravitational) Acceleration, nhập Global Cartesian Y - comp=9.81 > OK > Hoàn thành gán gia tốc trọng trường.

- *Gán áp lực lên mặt đỉnh đài cọc*: Main Menu > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Areas > Xuất hiện cửa sổ lựa chọn mặt gán tải trọng như hình 6.29, trong cửa sổ nhập giá trị 5, 7, 9, 11, 34 (mặt đỉnh đài cọc) > OK > Xuất hiện cửa sổ như hình 6.30, nhập VALUE=1800 > OK.



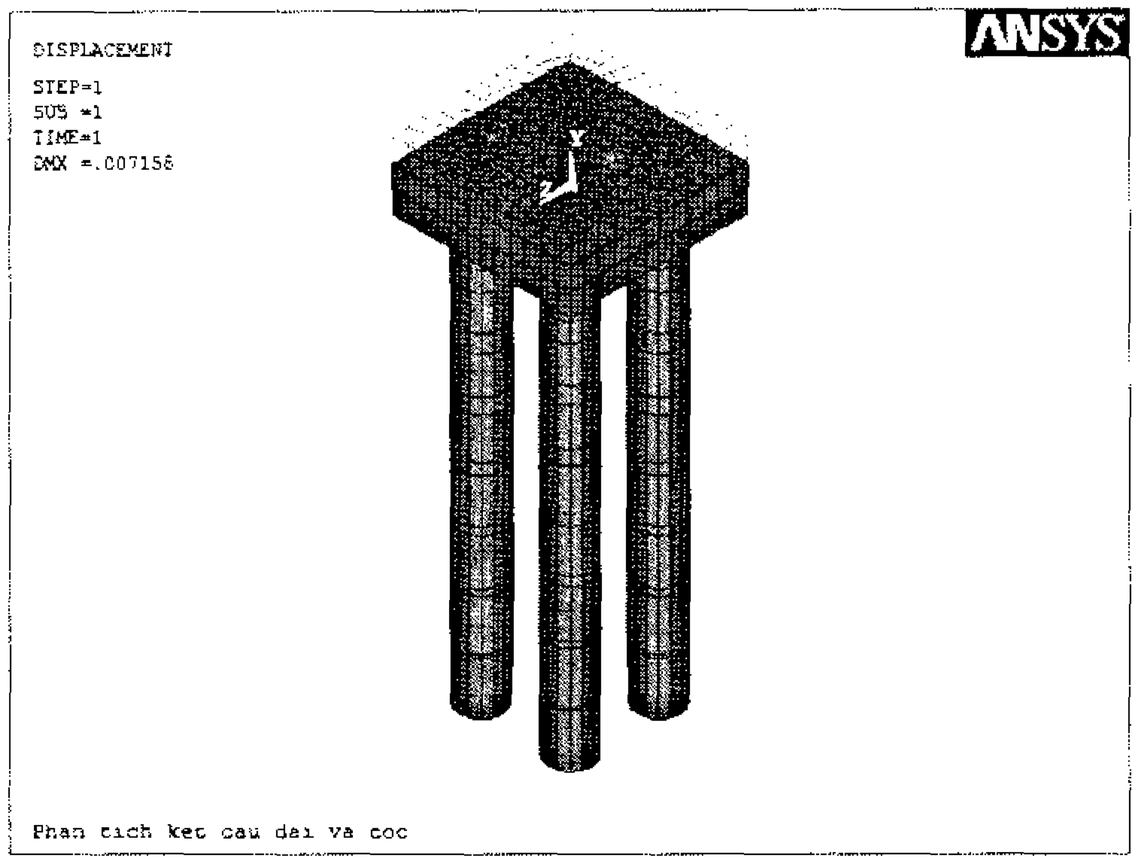
Hình 6.29. *Gán áp lực lên mặt đài cọc*



Hình 6.30. *Cửa sổ nhập giá trị tải trọng áp lực*

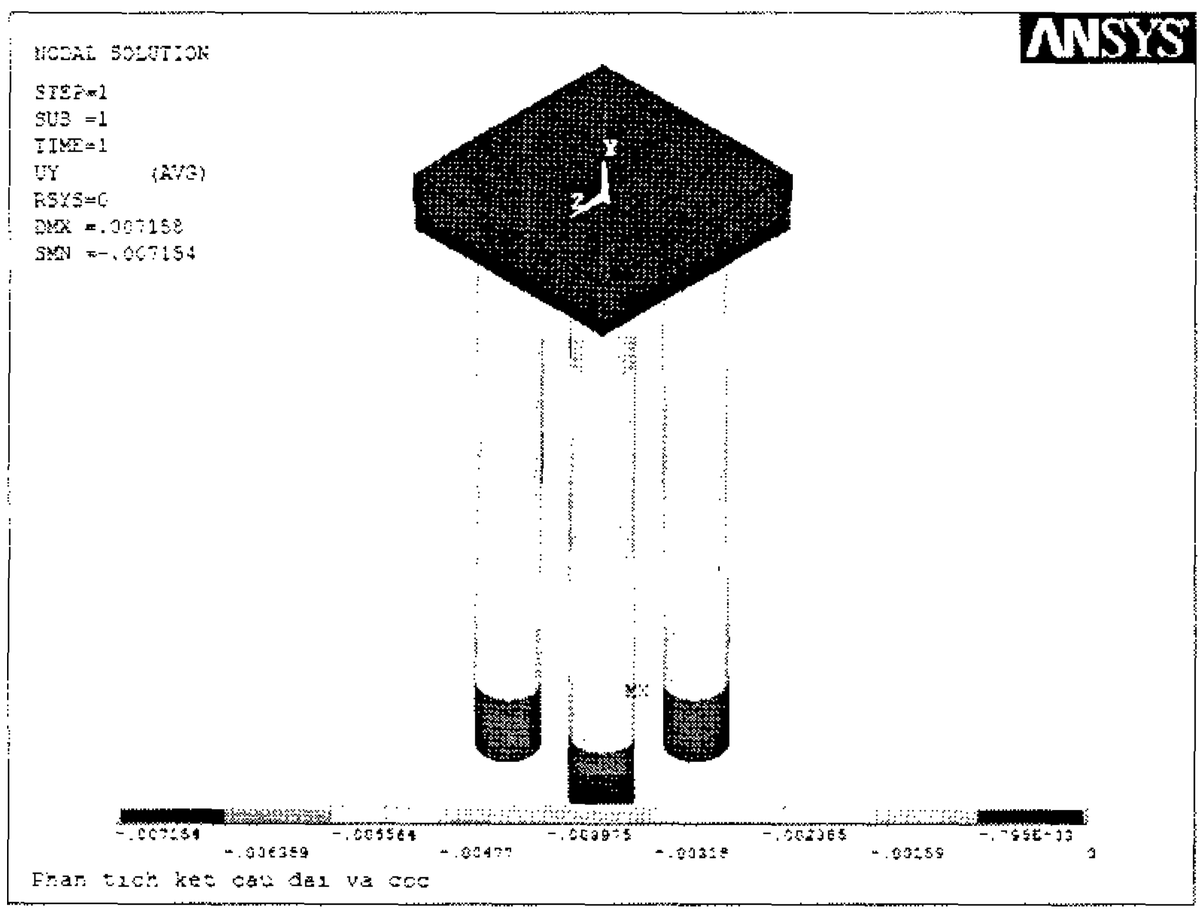
- *Giải bài toán*: Main Menu > Solution > Analysis > New Analysis > Xuất hiện cửa sổ New Analysis, trong Type of analysis nhấn lựa chọn Static > OK. Main Menu > Solution > Solve > Current LS > Xuất hiện hai cửa sổ /STATUS Command và Solve Curent Load Step tóm tắt toàn bộ các thông tin trước khi tính toán. Nhấn OK để bắt đầu quá trình tính toán. Sau khi có thông báo Solution is done công việc tính toán đã hoàn thành...

- *Hiển thị biến dạng*: Main Menu > General Postproc > Plot Result > Deformed Shape > xuất hiện cửa sổ Plot Deformed Shape, nhấn lựa chọn Def + undef edge, sau đó nhấn OK được kết quả tính toán biến dạng như hình 6.31.



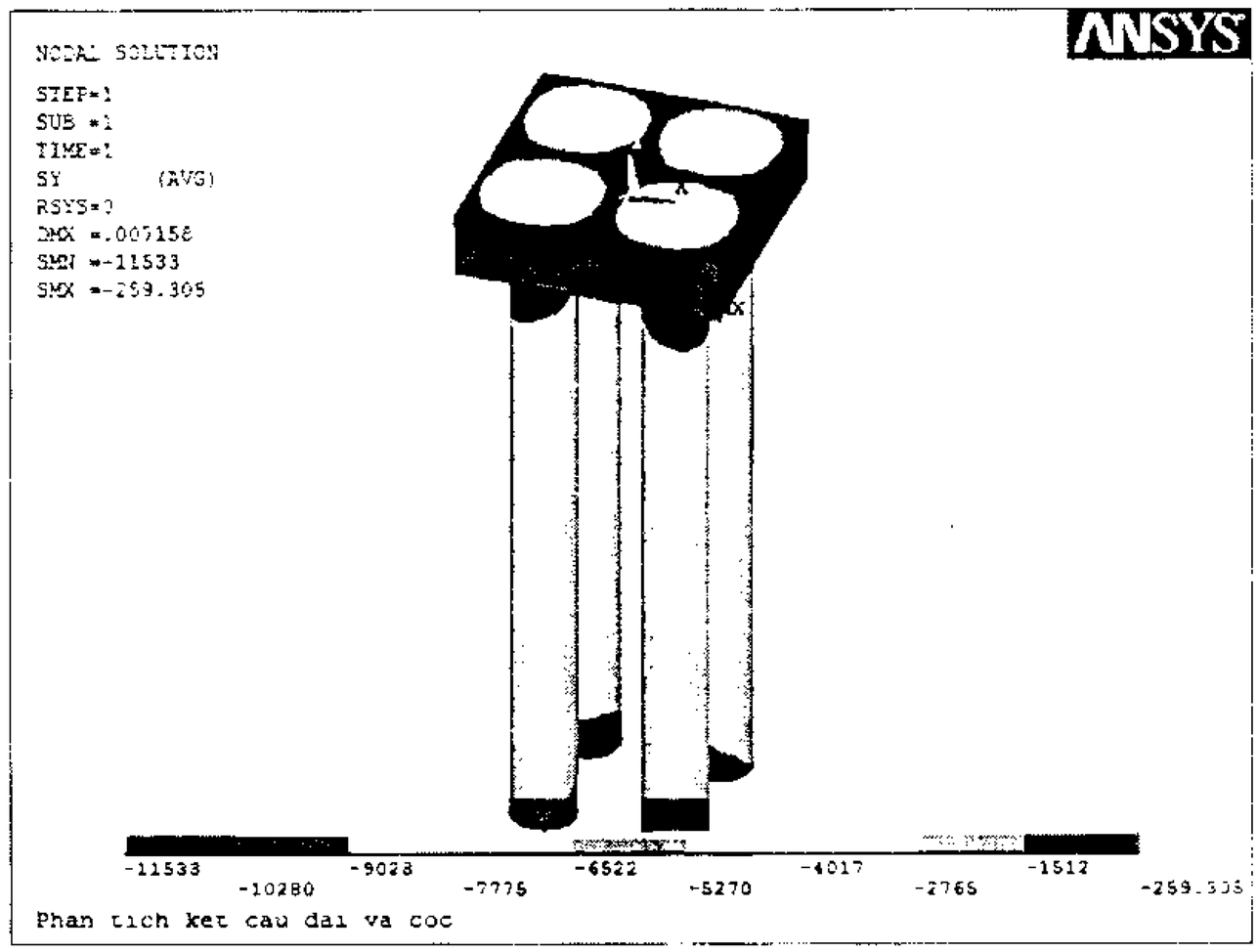
Hình 6.31. *Biến dạng hệ đài cọc*

- *Hiển thị phổ mầu chuyển vị theo phương đứng*: Main Menu > General Postproc > Plot Result > Contour Plot > Nodal Solu > Xuất hiện cửa sổ Contour Nodal Solution Data, dùng chuột nhấn theo đường dẫn Nodal Solution > DOF Solution > Y - Component of Displacement > OK, sẽ được phổ chuyển vị theo phương đứng như hình 6.32.



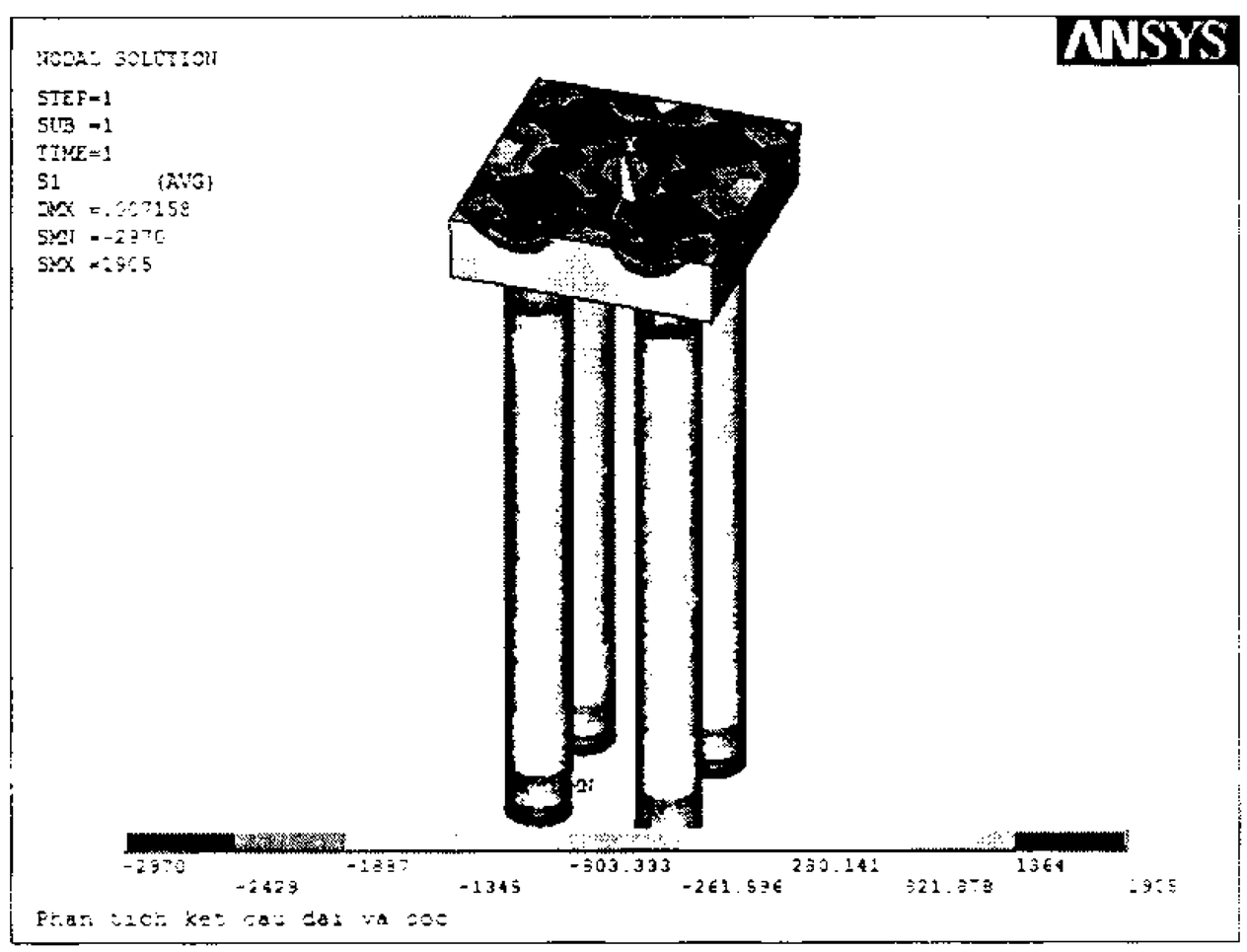
Hình 6.32. *Phổ mầu chuyển vị theo phương đứng*

- *Hiển thị phổ ứng suất theo phương Y*: Main Menu > General Postproc > Plot Result > Contour Plot > Nodal Solu > xuất hiện cửa sổ Contour Nodal Solution Data, dùng chuột nhấn theo đường dẫn Nodal Solution > Stress > Y - Component of stress > OK, sẽ được phổ ứng suất theo phương Y như hình 6.33.



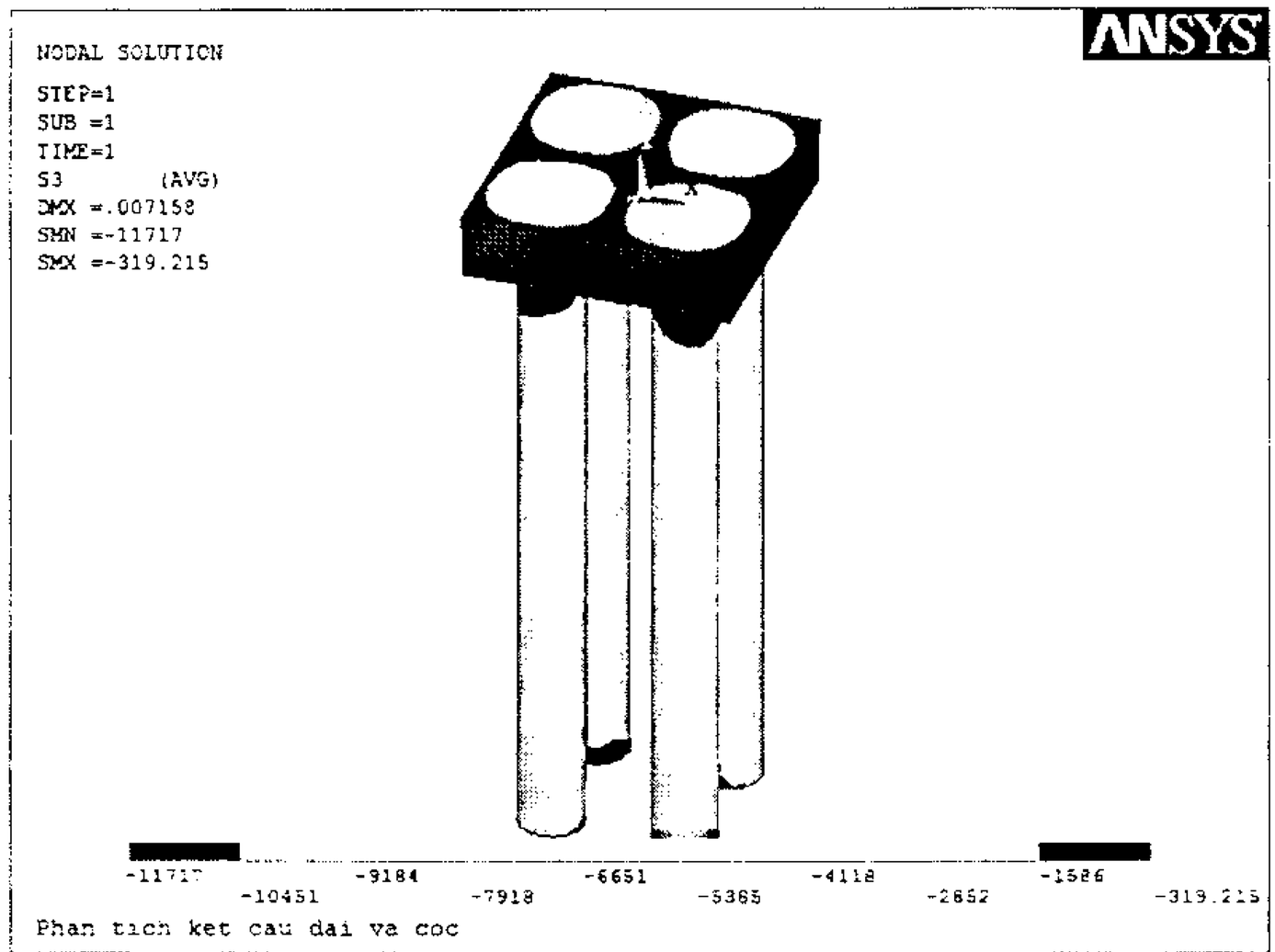
Hình 6.33. *Phổ ứng suất theo phương Y*

- *Hiển thị phổ mầu ứng suất chính S1*: Main Menu > General Postproc > Plot Result > Contour Plot > Nodal Solu > Xuất hiện cửa sổ Contour Nodal Solution Data, dùng chuột nhấn theo đường dẫn Nodal Solution > Stress > 1st Principal stress > OK, sẽ được phổ ứng suất chính S1 như hình 6.34.



Hình 6.34. *Phổ ứng suất chính S1*

- *Hiển thị phổ ứng suất chính S3*: Main Menu > General Postproc > Plot Result > Contour Plot > Nodal Solu > Xuất hiện cửa sổ Contour Nodal Solution Data, dùng chuột nhấn theo đường dẫn Nodal Solution > Stress > 3rd Principal stress, >, sẽ được phổ mầu ứng suất chính S3 như hình 6.35.



Hình 6.35. *Phổ ứng suất chính S3*

2. Giải theo phương thức COMMAND

```
/TITLE, Phan tich ket cau dai va coc
/COM, Structural          !Lựa chọn loại hình phân tích là phân tích kết cấu
/PREP7                    !Tiền xử lý
ET,1,SOLID45              !Định nghĩa loại hình phần tử số 1
MP,EX,1,,3E7              !Định nghĩa thuộc tính mô đun đàn hồi vật liệu 1
MP,DENS,1,,2.55           !Định nghĩa khối lượng riêng vật liệu 1
MP,PRXY,1,,0.2            !Định nghĩa hệ số Poisson vật liệu 1
SAVE
!Tạo điểm đặc trưng
K,1,-4,0,-4,              !Tạo điểm đặc trưng đài cọc
K,2,-4,0,4,
K,3,4,0,4,
K,4,4,0,-4,
K,5,-4,2,-4,
K,6,-4,2,4,
K,7,4,2,4,
K,8,4,2,-4,
K,9,-2,2,-2,              !Tạo điểm đặc trưng vị trí cọc
```

```
K,10,-2,2,2,
K,11,2,2,2,
K,12,2,2,-2,
V,1,2,3,4,5,6,7,8                    !Tạo khối đài cọc
WPOFF,0,2,0                          !Di chuyển hệ tọa độ cục bộ
WPROT,0,90,0                         !Xoay hệ tọa độ cục bộ
CYL4,-2,-2,1,,,,22                   Tạo khối cọc
CYL4,-2,2,1,,,,22
CYL4,2,2,1,,,,22
CYL4,2,-2,1,,,,22
WPROT,0,-90,0                        !Xoay hệ tọa độ cục bộ
WPOFF,0,-2,0                         !Di chuyển hệ tọa độ cục bộ
VOVLAP,1,2,3,4,5                     !Nối tiếp các khối
NUMMRG,ALL,,,,LOW
NUMCMP,ALL
SAVE                                 !Phân chia mạng lưới phần tử
LSEL,S,,,5                           !Chọn đường L5
LESIZE,ALL,,,2                       !Phân chia đường L5 thành 2 đoạn
                                     !Tương tự với các đường thẳng khác:
L7, L9, L11, L47, L48, L53, L54, L59, L60, L65, L66
LESIZE,ALL,,,2
LSEL,S,,,1                           !Chọn đường L1
LESIZE,ALL,,,12                      !Phân chia đường L1 thành 12 đoạn
                                     !Tương tự với các đường thẳng khác:
L2, L3, L4, L6, L8, L10, L12, L49, L50, L55, L56, L61, L62, L67, L68
LESIZE,ALL,,,12
LSEL,S,,,13                          !Chọn đường L3
LESIZE,ALL,,,4                       !Phân chia đường L3 thành 4 đoạn
                                     !Tương tự với các đường thẳng khác:
L14, L15, L16, L21, L22, L23, L24, L29, L30, L31, L32, L37, L38, L39, L40, L17,
L18, L19, L20, L25, L26, L27, L28, L33, L34, L35, L36, L41, L42, L43, L44
LESIZE,ALL,,,4
LSEL,S,,,45                          !Chọn đường L45
LESIZE,ALL,,,8                       !Phân chia đường L45 thành 8 đoạn
                                     !Tương tự với các đường thẳng khác:
L46, L51, L52, L57, L58, L63, L64
LESIZE,ALL,,,8
VSWEEP,1,,,                          !Phân chia khối 1
VSWEEP,2,,,
VSWEEP,3,,,
VSWEEP,4,,,
VSWEEP,5,,,
```

```
VSWEEP,6,,,
VSWEEP,7,,,
VSWEEP,8,,,
VSWEEP,9,,,
SAVE
FINI
!Gia tải và tính toán
/SOLU
ALLSEL
ASEL,S,,,6                    !Chọn mặt đáy cọc
ASEL,S,,,8
ASEL,,,10
ASEL,,,12
NSLA,R,1                      !Chọn các điểm nút trên mặt đáy cọc
ACEL,0,9.81,0                 !Gán gia tốc trọng trường
SFA,5,1,PRES,1875             !Gán áp lực phân bố đều lên mặt 5
SFA,7,1,PRES,1875
SFA,9,1,PRES,1875
SFA,11,1,PRES,1875
SFA,34,1,PRES,1875
ALLSEL
OUTRES,ALL,ALL
SOLVE                         !Giải
FINI
SAVE
!Xuất kết quả tính toán
/POST1
PLDISP,1                      !Hiển thị biến dạng đài và cọc
PLNSOL,U,Y,0,1                !Hiển thị phổ biến dạng theo phương đứng
PLNSOL,S,Y,0,1                !Hiển thị phổ ứng suất theo phương đứng
PLNSOL,S,1,0,1                !Hiển thị phổ ứng suất chính thứ nhất
PLNSOL,S,3,0,1                !Hiển thị phổ ứng suất chính thứ ba
```

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Văn Phái, Trương Tích Thiện, Nguyễn Tường Long, Nguyễn Định Giang. *Giải bài toán cơ kỹ thuật bằng chương trình ANSYS*. Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, 2003.
2. Nguyễn Việt Hùng, Nguyễn Trọng Giảng. *ANSYS & Mô phỏng số trong công nghiệp bằng phần tử hữu hạn*. Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, 2003.
3. 博弈创作室. ANSYS 经典产品高级分析技术与实例详解. 中国水利水电出版社, 2005.
4. 王呼佳, 陈洪军. ANSYS 工程分析进阶实例. 中国水利水电出版社, 2006.
5. 李国. ANSYS 土木工程应用实例（第二版）. 中国水利水电出版社, 2007.
6. 张朝晖. ANSYS 11.0 结构分析工程应用实例解析（第 2 版）. 机械工业出版社, 2008.
7. 祝效华, 余志祥. ANSYS 高级工程有限元分析范例精选. 电子工业出版社, 2005.
8. 盛和太等编著. ANSYS 有限元原理与工程应用实例大全. 清华大学出版社, 2006.
9. 石少卿等编著. 建筑结构有限元分析及 ANSYS 范例详解. 中国建筑工业出版社, 2008.
10. 阚前华, 谭长建, 张娟等编著. ANSYS 高级工程应用实例分析与二次开发. 电子工业出版社, 2006.
11. 老虎工作室, 李权. ANSYS 在土木工程中的应用. 人民邮电出版社, 2005.
12. 郝文化等编著. ANSYS 土木工程应用实例. 中国水利水电出版社, 2005.
13. 曾艳华, 王英学, 王明年. 地下结构 ANSYS 有限元分析. 西南交通大学出版社, 2008.
14. 李伟等编著. 隧道及地下工程 ANSYS 实例分析. 中国水利水电出版社, 2008.
15. 赖永标, 胡仁喜, 黄书珍. ANSYS 11.0 土木工程有限元分析典型范例. 电子工业出版社, 2007.
16. 博弈创作室. APDL 参数化有限元分析技术及其应用实例. 中国水利水电出版社, 2004.
17. 龚曙光, 谢桂兰, 黄云清. ANSYS 参数化编程与命令手册. 机械工业出版社, 2010.
18. 孙纪宁. ANSYS CFX 对流传热数值模拟基础应用教程. 国防工业出版社, 2010.
19. Một số tài liệu tham khảo trên các diễn đàn trao đổi học tập ANSYS ở Trung Quốc.

MỤC LỤC

Lời nói đầu 3

Chương 1: Mở đầu 5

1.1. Giới thiệu khái quát phần mềm ANSYS 5

A- Phần 1. Các bài toán cơ bản 5

B- Phần 2. Các bài toán nâng cao 8

1.2. Trình tự giải bài toán kết cấu bằng phần mềm ANSYS 12

Ví dụ 1.1 13

Ví dụ 1.2. Dầm một nhịp một đầu ngàm một đầu khớp 31

Ví dụ 1.3. Đập trọng lực 39

Chương 2: Kết cấu giàn 58

2.1. Kết cấu giàn 58

2.2. Phần tử thanh (LINK) 58

2.2.1. Phần tử LINK1 58

2.2.2. Phần tử LINK8 60

2.3. Phân tích kết cấu giàn 60

Ví dụ 2.1. Giàn phẳng hình thang 60

Ví dụ 2.2. Giàn phẳng hình thang ngược 70

Ví dụ 2.3. Giàn phẳng hình cổng 74

Ví dụ 2.4. Giàn không gian hình thang ngược 82

Ví dụ 2.5. Giàn không gian hình thang 91

Chương 3: Kết cấu dÇm và khung 95

3.1. Kết cấu dầm và khung 95

3.2. Phần tử dầm (BEAM) 95

3.2.1. Phần tử BEAM3 95

3.2.2. Phần tử BEAM54 97

3.2.3. Phần tử BEAM4 99

3.2.4. Phần tử BEAM44 102

3.2.5. Phần tử lò xo COMBIN14 104

3.3. Phân tích kết cấu dầm và khung 106

Ví dụ 3.1. Dầm lên tục hai nhịp 106

Ví dụ 3.2. Dầm liên tục hai nhịp 113

Ví dụ 3.3. Dầm trên nền đàn hồi 121
Ví dụ 3.4. Khung phẳng hai tầng một nhịp 126
Ví dụ 3.5. Khung phẳng 2T2N 136
Ví dụ 3.6. Khung một tầng hai nhịp 141
Ví dụ 3.7. Cống hộp hai khoang trên nền đàn hồi 151
Ví dụ 3.8. Cống hộp ba khoang trên nền đàn hồi 160
Ví dụ 3.9. Dầm chịu uốn xiên 163
Ví dụ 3.10. Khung không gian 1T1N 168
Ví dụ 3.11. Khung không gian 1T2N 177
Ví dụ 3.12. Khung không gian 2T1N 183
Ví dụ 3.13. Khung không gian 2T1N 200
Ví dụ 3.14. Xây dựng chương trình phân tích khung một tầng một nhịp 203
Chương 4: Bài toán phẳng 216
4.1. Khái quát về bài toán phẳng 216
4.1.1. Bài toán phẳng 216
4.1.2. Xây dựng mô hình hình học bài toán phẳng 216
4.2. Phần tử phẳng (PLANE) 219
4.2.1. Phần tử PLANE42 219
4.2.2. Phần tử PLANE183 222
4.3. Phân tích bài toán phẳng 224
Ví dụ 4.1. Dầm cao 224
Ví dụ 4.2. Tấm chữ nhật có khoét lỗ 234
Ví dụ 4.3. Cống hộp 243
Ví dụ 4.4. Đập ngăn 251
Ví dụ 4.5. Đập ngăn có hành lang 262
Ví dụ 4.6. Đập tràn tự do 276
Ví dụ 4.7. Đập tràn có cửa van 289
Chương 5: Kết cấu vỏ mỏng 299
5.1. Kết cấu vỏ 299
5.2. Phần tử vỏ (SHELL) 299
5.2.1. Phần tử vỏ kết cấu đối xứng trục SHELL51 299
5.2.2. Phần tử vỏ đàn hồi SHELL63 299

5.3. Phân tích kết cấu vỏ 302
Ví dụ 5.1. Kết cấu vòm vỏ mỏng không gian 305
Ví dụ 5.2. Phân tích cầu giàn thép chịu lực tĩnh 313
Chương 6: Kết cấu khối 333
6.1. Kết cấu khối 333
6.2. Phần tử khối 333
6.3. Phân tích bài toán khối 335
Ví dụ 6.1. Phân tích kết cấu khung nhà dân dụng 335
Ví dụ 6.2. Phân tích kết cấu đài và cọc 347
Tài liệu tham khảo 358

ANSYS PHÂN TÍCH KẾT CẤU CÔNG TRÌNH THỦY LỢI THỦY ĐIỆN

TẬP 1 - CÁC BÀI TOÁN CƠ BẢN

Chịu trách nhiệm xuất bản:
TRỊNH XUÂN SƠN

Biên tập: VŨ HỒNG THANH
Chế bản: TRẦN THU HOÀI
Sửa bản in: VŨ HỒNG THANH
Trình bày bìa: H.S VŨ BÌNH MINH

In 300 cuốn khổ 19 × 27cm tại Xưởng in Nhà Xuất bản Xây dựng. Giấy chấp nhận đăng ký kế hoạch xuất bản số 1353-2011/CXB/01-145/XD ngày 12-12-2011. Quyết định xuất bản số 447/QĐ-XBXD ngày 12-12-2011. In xong nộp lưu chiểu tháng 12-2011.